

**VŠB- Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta Strojní**  
**Katedra výrobních strojů a konstruování**

**Aplikace metod technické diagnostiky na  
hydraulických agregátech slévárny**

**Application of Methods of Technical Diagnostics  
on Hydraulic Aggregates of Foundry**

Student:

Bc. Zdeněk Pustějovský

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Jan Blata, Ph.D.

Ostrava 2018

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Zdeněk Pustějovský**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování  
Téma: Aplikace metod technické diagnostiky na hydraulických agregátech  
slévárny  
Application of Methods of Technical Diagnostics on Hydraulic  
Aggregates of Foundry  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Prostředí těžkého provozu klade zvýšené nároky na udržení čistoty všech provozních kapalin, zvláště pak u hydraulických agregátů. Čistota oleje je jedním z důležitých faktorů ovlivňujících životnost hydraulických agregátů. Současně z otěrových částic, z jejich množství, morfologie (tvaru) a chemického složení lze určit poškozený nebo opotřebený konstrukční uzel, případně o jaký druh poruchy nebo poškození se jedná. Využijte proto metody tribodiagnostiky a vibrodiagnostiky pro objektivizaci technického stavu hydraulických agregátů.

### V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proved'te potřebná měření.
5. Proved'te konkrétní provozní vyhodnocení.

Podrobnější specifikaci zadání nebo jeho úpravy provede vedoucí práce.

### Seznam doporučené odborné literatury:

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1. vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6

KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4

BLATA, J. – Juraszek, J. *Metody technické diagnostiky, teorie a praxe. Metody diagnostyki technicznej, teoria i praktyka*. Ostrava: REPRONIS, s.r.o., 2013, 133 stran, ISBN 978-80-248-2997-5

Podkladové materiály firem - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

ČSN ISO 10 816 *Vibrace-Hodnocení vibrační strojů na základě měření na nerotujících částech*. Praha: Český normalizační institut, 1998.

ČSN 01 6910 *Úprava písemností psaných strojem nebo zpracovaných textovými editory*. Praha: Český normalizační institut, srpen 1997. 36 s.

ČSN ISO 690 *Bibliografické citace. Obsah, forma a struktura*. Praha: Český normalizační institut, 1999. 32 s.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata, Ph.D.**

Datum zadání: 08.12.2017

Datum odevzdání: 21.05.2018



doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

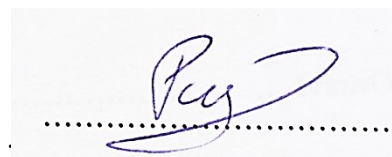
### **Poděkování**

Rád bych vyjádřil díky panu Ing. Emilu Suchánkovi a panu Janu Tajslerovi za veškerou spolupráci a za velmi ochotně poskytnuté rady. Také musím poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Janu Blatovi, Ph.D. za veškeré rady a panu Ing. Davidu Šeděnkovi za spolupráci v laboratořích při rozbořech olejů.

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě ..... 15.5.2018 .....

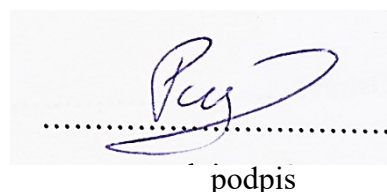


podpis studenta

## Prohlašuji, že

- Jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohou jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....15.5.2018.....



podpis

Zdeněk Pustějovský

9. Května 1178, Příbor 742 58

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

PUSTĚJOVSKÝ, Zdeněk. Aplikace metod technické diagnostiky na hydraulických agregátech slévárny: Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2018, 64 s. Vedoucí práce: Ing. Jan Blata, Ph.D.

Diplomová práce se zabývá použitím metod technické diagnostiky na zařízeních slévárny. V práci jsou nejdříve popsány postupy výroby minerálních olejů. Práce obsahuje popis jednotlivých druhů hydraulických olejů. V práci je popis vlastností, který by měl mít hydraulický olej a také jaké může mít následky, když o tyto vlastnosti ztratí. V další části jsou popsány stroje a zařízení na slévárně na kterých bylo provedeno měření metodami technické diagnostiky, včetně soupisu naměřených výsledků a doporučení pro další údržbářské postupy.

Klíčová slova: Minerální hydraulické oleje; Vibrodiagnostika; Termodiagnostika, Tribodiagnostika

## ANNOTATION OF BACHELORY THESIS

PUSTĚJOVSKÝ, Zdeněk. Application of Methods of Technical Diagnostic on Hydraulic Aggregates of Foundry: Master thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of production machines and design, 2016, 64 p. Thesis head: Ing. Jan Blata, Ph.D.

Master thesis deals with using of methods of technical diagnostic on the device of foundry. In thesis are at first describing the processes of production of mineral oils. The thesis contains a description individual types of hydraulic oils. In the thesis is a description of the properties that hydraulic oil should have and also what consequences it can have when it loses its properties. In the next part there are described machines and devices of the foundry on which measurements were made by the methods of technical diagnostics, including an inventory of measured results and recommendations for further maintenance procedures.

Keywords: Mineral hydraulic oils, vibrodiagnostics, Thermodiagnostic, Tribodiagnostic

## Obsah

Seznam použitých jednotek a zkratk	10
1 Úvod	11
2 Základové oleje	12
2.1 Rafinace	12
2.2 Odparařinování	12
2.3 Dorafinace	13
2.4 Rozdělení základových olej	13
3 Aditiva	15
3.1 Chemické vlastnosti	15
3.1.1 Antioxidanty	15
3.1.2 Přísady proti vysokotlakému opotřebení	15
3.1.3 Detergenty a disperzanty	15
3.1.4 Modifikátory tření	16
3.1.5 Pasivátory kovů	16
3.1.6 Inhibitory koroze	16
3.2 Fyzikální vlastnosti	16
3.2.1 Modifikátory viskozity	16
3.2.2 Depresanty	16
3.2.3 Protipěnicí přísady	17
3.2.4 Přísady pro zlepšení přilnavosti	17
3.2.5 Emulgační a demulgační přísady	17
3.2.6 Biocidy	17
4 Kapaliny pro hydraulické mechanismy	18
4.1 Rozdělení hydraulických olejů	19
4.1.1 Minerální oleje	19
4.1.2 Syntetické oleje	20



4.2	Požadavky na vlastnosti hydraulických olejů .....	21
4.2.1	Viskozita .....	21
4.2.2	Viskózní index .....	21
4.2.3	Stlačitelnost.....	22
4.2.4	Měrná tepelná kapacita .....	22
4.2.5	Mazací schopnost.....	22
4.2.6	Pěnivost kapalin .....	23
4.2.7	Bod vzplanutí.....	23
4.2.8	Oxidační stálost.....	24
4.2.9	Číslo kyselosti.....	27
4.2.10	Korozní působení na kovy .....	27
4.2.11	Snášenlivost s elastomery .....	27
4.2.12	Fyziologické a ekologické vlastnosti. ....	27
4.2.13	Ekonomické vlastnosti.....	28
5	Péče o hydraulické oleje v průběhu jejich provozu.....	30
6	TATRA METALURGIE a.s. ....	32
6.1	Aplikace metod technické diagnostiky na slévárně .....	33
6.1.1	Rozbor hydraulického oleje .....	33
6.1.2	Vibrodiagnostika.....	34
6.1.3	Termodiagnostika .....	34
6.1.4	Přiřazení metod k jednotlivým strojům .....	35
7	Hydraulický lis CPS 160 .....	36
7.1	Popis funkce .....	36
7.2	Hydraulický mechanismus .....	36
7.3	Aplikace technické diagnostiky .....	37
7.3.1	Doporučení.....	39
7.4	Termodiagnostika hydraulického rozvaděče.....	40
7.4.1	IR termosnímek – pohled 1 .....	41

7.4.2	IR termosnímek – pohled 2.....	43
8	Mallcus .....	44
8.1	Popis funkce .....	44
8.2	Hydraulický mechanismus stroje .....	44
8.3	Aplikace technické diagnostiky .....	45
8.3.1	Doporučení.....	46
9	Tellus .....	47
9.1	Popis funkce .....	47
9.2	Hydraulický mechanismus .....	47
9.3	Aplikace metod technické diagnostiky na stroji Tellus .....	48
9.3.1	Doporučení.....	50
10	FTIR.....	51
11	Ventilátor pro odsávání haly .....	53
11.1	Analýza stavu stroje pomocí vibrodiagnostiky .....	54
11.1.1	Stanovení limitních hodnot .....	54
11.1.2	Soupis z měření.....	55
11.2	Doporučení.....	56
12	Lamberton.....	57
12.1	Vibrační diagnostika ložisek vibrátorů .....	58
12.1.1	Stanovení limitních hodnot .....	58
12.1.2	Soupis z měření.....	59
12.1.3	Doporučení.....	60
13	Závěr .....	61
14	Citace .....	62

## Seznam použitých jednotek a zkratek

<i>ot/min</i>	otáčky za minutu
<i>mm/s</i>	rychlost vibrací
<i>g</i>	zrychlení vibrací
$mm^2 \cdot s^{-1}$	Kinematická viskozita
<i>ppm</i>	Parts per milion (částic na jeden milion)
$^{\circ}C$	Stupeň celsia
<i>l</i>	Litry
<i>l/min</i>	Průtok
<i>mgKOH/g</i>	Kyselost oleje
<i>TAN</i>	Číslo kyselosti
$\mu m$	Mikrometr
<i>MPa</i>	Megapascal
<i>kW</i>	Kilowatt
<i>kg</i>	Kilogram
<i>Hz</i>	Hertz
$\varepsilon$	Emisivita
$\rho$	Reflexivita
$\tau$	Transmisivita
<i>VI</i>	Viskózní index
<i>RMS</i>	Efektivní hodnota vibrací
<i>MPC</i>	Membrane patch colorimetr
<i>RULER</i>	Remaining Useful Life Evaluation Routine
<i>FTIR</i>	Fourier transform infrared (Infračervená spektroskopie s fourierovou transformací)
<i>API</i>	American Petroleum institute
<i>WGK</i>	Wassergefährdungsklasse
a.s.	Akciová společnost
<i>IR termosnímek</i>	Infračervený termosnímek

## 1 Úvod

Pro mou diplomovou práci jsem se rozhodl spolupracovat s firmou TATRA METALURGIE a.s. konkrétně je má spolupráce spjata s úsekem údržby pro oblast slévárny. Ing. Emil Suchánek – specialista údržby ve firmě mne požádal o diagnostikování stavu několika jejich strojů.

V teoretické části se budu zabývat minerálními hydraulickými oleji. Chci se zabývat postupem výroby oleje od ropy až po finální produkt. Budu popisovat jednotlivé druhy základových olejů. Jelikož alfa a omega v konečných vlastnostech olejů jsou aditiva chci se zaměřit i na jednotlivé druhy aditiv. Budu popisovat vlastnosti, které se sledují u hydraulických olejů. Nemám však v úmyslu se zaměřovat tolik na metody měření a zjišťování jednotlivých vlastností jako spíše na následky, které přicházejí ve chvíli kdy olej ztrácí vlastnosti.

V praktické části se zaměřím na popis jednotlivých strojů a zařízení na kterých probíhalo měření metodami technické diagnostiky a následně chci doplnit i výsledky z měření a doporučení pro další postupy.

## 2 Základové oleje

Nejprve je třeba říct a pojmenovat, že oleje můžeme rozdělit na minerální a syntetické.

Minerální oleje získáváme úpravou ropy, respektive z ropy získáme základní olej, která se následně obohatíme aditivy a tím získáme olej jak ho známe. Právě kvalita úpravy ropy má velký vliv na následnou kvalitu základního oleje. Úprava ropy v olej má v zásadě tři kroky.

Pro celou první kapitolu jsem čerpal ze zdrojů 3 a 4.

### 2.1 Rafinace

Prvním a zároveň nejdůležitějším krokem je rafinace ropy. Jedním z nejstarších způsobů rafinace, nicméně stále nejpoužívanějším, je extrakce ropné suroviny vhodným rozpouštědlem. Cílem rozpouštědla je odstranit z ropné suroviny, mimo jiné pryskyřičnaté látky obsahující dusík a síru, která jsou společně s viskózním indexem a obsahem nasycených uhlovodíků ukazatelem kvality základového oleje. Síra společně s dusíkem totiž v oleji zapříčiňují kaly a úsady, které se usazují v systému a jsou tím pádem nežádoucí.

Zmíním ještě jeden způsob rafinování a tím je, o něco modernější, hydrokrakování. Proces probíhá při vysokém tlaku vodíku při velmi vysoké teplotě, konkrétně při 400°C a vyšší. Hydrokrakování nám z ropné látky velice efektivně odstraní právě ony zmíněné sirné a dusíkaté látky. Základové oleje získané tímto způsobem se poté pyšní téměř nulovým obsahem těchto látek, společně s nízkým obsahem aromatických uhlovodíků.

### 2.2 Odparafinování

Prošel-li ropný olej prvním krokem je to za normálních teplot v podstatě pevná látka a pro nás tady v podstatě nepoužitelný. Způsobuje to parafín, který je zde nyní obsažen ve velkém množství.

Ropný olej se ochlazen na nízkou teplotu poté, co se smíchá s rozpouštědlem. Je to proces, díky kterému je parafín vyloučen a poté i vyfiltrován. Následně je odstraněno rozpouštědlo. Tomuto procesu se říká rozpouštědlové odparafinování.

Krátce zmíním ještě jednu metodu odparafinování a tím je hydroizomerace parafinů. Touto metodou se získávají velice kvalitní základové oleje, které bývají často i téměř bezbarvé. Postup metody je podobný hydrokrakování.

### 2.3 Dorafinace

Dostáváme se k poslednímu kroku a tím je dorafinace. V tomto kroku dochází k odstranění zbytkových nečistot, dochází i k zlepšení barvy oleje. Používána je například opět extrakce rozpouštědlem, nebo třeba hydrogenace.

Do technologie výroby základových olejů musí být také zařazena destilace, kterou se mimo jiné odstraňují také lehké a těkavé produkty hydrokrakování.

### 2.4 Rozdělení základových olejů

Základový olej má podstatný vliv na kvalitu maziva, respektive na jeho životnost v provozu. Dle API (American Petroleum institute) jsou základové oleje zařazeny do pěti kategorií (viz. Tabulka 1) a to na základě jejich kvalitativních vlastností a chemického složení. Jmenovitě se jedná o Viskózní index, obsah síry a obsah nasycených uhlovodíků.

Kategorie	Typ oleje	Obsah síry [%]	Obsah nasycených uhlovodíků [%]	Viskózní index	Obsah aromatických uhlovodíků [%]	Biologická odbouratelnost [%]
I	Rozpouštědlové rafináty	> 0,03	< 90	80 až 120	5 až 25	30 až 40
II	Hydrokrakové oleje	< 0,03	90 až 98	80 až 120	0,3	30 až 40
III	Hydrokrakové oleje	< 0,03	98 až 100	> 120	0,3	60
IV	Polyalfaolefiny (syntetické – PAO)		100		0,1	70
V	Ostatní základové oleje, které nepatří do skupiny I, II, III nebo IV				0	65
VI	Polyinternalolefiny (PIO)					

Tabulka 1 Rozdělení základových olejů

První tři kategorie jsou tedy ropné oleje. V kategorii IV jsou syntetické oleje a kategorii poslední, tedy V jsou zařazeny všechny ostatní. Kvalita ropných olejů ovšem stále stoupá a například oleje kategorie III jsou často dávány na úroveň IV

V textu výše jsem zmínil, že oleje jsou kategorizované dle několika vlastností, jako je obsah síry, nasycených uhlovodíků, aromatických uhlovodíků a viskózního indexu. Chci se teď krátce textem zaměřit na tyto vlastnosti abych objasnil jejich vliv na kvalitu oleje.

Minerální oleje se skládají z několika druhů uhlovodíků. Nasycených, nenasycených a aromatických. Zajímá nás jejich procentuální množství v oleji, jelikož mají přímý vliv na jejich oxidační stálost. Podrobně je o nich rozepsáno v kapitole 2.9 Oxidační stálost.

Síra v oleji je tak trochu dvousečná zbraň, má totiž silné antioxidační účinky a to i při vysokých teplotách. Je tady ale jeden háček. Síra jde ruku v ruce aromatickými uhlovodíky, jinými slovy mám-li v oleji hodně síry, mám i aromatické uhlovodíky. Z aromatických uhlovodíků se při vysokých teplotách tvoří kaly a karbonové nánosy, které se usazují na prvcích soustavy a zanášejí pak filtry. Síra nám také může snížit účinky některých aditiv.

Viskózní index je vlastnost popisující stálost viskozity při změně teploty. Jinými slovy, je to číslo charakterizující změnu viskozity při změně teploty. Což nás zajímá hlavně v případě kdy víme, že olej bude pracovat v prostředí kde se často mění teplota. O viskózním indexu je více napsáno v kapitole 3.2.2.

### 3 Aditiva

Požadovaných mazacích vlastností nedosáhneme zpravidla u čistých základových olejů, nýbrž přimícháním aditiv. Cílem aditiv je upravit, lépe řečeno vylepšit, fyzikální a chemické vlastnosti olejů a maziv

Pro celou kapitolu 2 jsem čerpal ze zdrojů 5 a 7.

#### 3.1 Chemické vlastnosti

##### 3.1.1 Antioxidanty

Oxidace je proces, při kterém dochází k reakci mezi molekulami oleje a atomy kyslíku obsažených ve vzduchu. Atomy kyslíků se stanou součástí molekul oleje a nastávají nevratné oxidační děje, jejichž produkty mění vlastnosti oleje a také zanáší mazací systém. Antioxidanty se snaží tomu zabránit. V zásadě používáme dva druhy antioxidantů. Jedná se o nízkoteplotní, které se používají do teplot 120 °C a vysokoteplotní antioxidanty s užitím do teploty 200 °C, tyto se používají zejména pro motorové oleje. Více o oxidačních jevech je napsáno v kapitole 2.9 Oxidační stálost.

Bylo by mylné si myslet, že antioxidanty zamezí těmto oxidačním procesům úplně, ony dokáží tyto procesy pouze výrazně zpomalit. Při provozu dochází ke spotřebování antioxidantů a jakmile antioxidanty vyprchají, tak v té chvíli se degradace výrazně urychlí.

##### 3.1.2 Přísady proti vysokotlakému opotřebení

Chrání části mazané soustavy pracující v oblasti mezního tření. Chrání kovový povrch tak, že na něm vytvoří pevný film, který zabraňuje kontaktu kov na kov i v případě narušení filmu oleje.

##### 3.1.3 Detergenty a disperzanty

Začnu u detergentů. Už jsem výše zmínil, že usazeniny se lepí na povrch částí systémů. Detergenty povrchy neustále čistí od zárodků různých usazenin a zároveň



zabraňují dalšímu usazování nečistot. Když však necháme tyto nečistoty volně proudit v systému dojde k shlukování nečistot a nakonec opět k usazení. Tady vstupují do hry disperzanty. Jakmile se nečistoty uvolní z povrchu systému ujmou se jich disperzanty, obalí je a tím zabrání shlukování a dalšímu usazování. Jelikož v tuhle chvíli mají nečistoty velikost do jedné desetiny mikrometru a tím pádem zůstanou menší než je tloušťka mazacího filmu a nejsou zachytnutelné filtry, tím pádem nenapáchá při nízké koncentraci vážné škody. Po nějaké době tyto schopnosti oleje vyprchají, proto je třeba dodržovat pravidelné výměny oleje, nebo provést regeneraci olejové náplně.

#### 3.1.4 Modifikátory tření

Slouží pro snižování koeficientu tření a pro jeho stabilizaci.

#### 3.1.5 Pasivátory kovů

Tyto aditiva vytvoří ochranou vrstvu na povrchu kovu a zabraňují oxidaci kovu a tedy i jeho korozi.

#### 3.1.6 Inhibitory koroze

Používají se nejen pro případ, kdy do olejové náplně vnikne voda, ale i pro vodní roztoky a emulze. Úkolem těchto látek je bránit vzniku koroze a jejímu dalšímu pronikání do hloubky tím, že vytvoří ochranou vrstvu na kovovém povrchu.

### 3.2 Fyzikální vlastnosti

#### 3.2.1 Modifikátory viskozity

Díky tomuto aditivu můžeme regulovat stálost viskozity oleje. Olej tedy může pracovat ve větším teplotním rozsahu.

#### 3.2.2 Depresanty

Tyto přísady používáme pro snižování bodu tuhnutí.

### 3.2.3 Protipěnicí přísady

Pěna v oleji vzniká při promíchání oleje se vzduchem. Aditiva proti pění oleje právě tomuto zabráňují. Jaké následky může mít pěna v pracovní kapalině je popsáno v kapitole 3.2.6.

### 3.2.4 Přísady pro zlepšení přilnavosti

Vylepšují schopnost vzájemné přilnavosti mazaného povrchu a maziva, také dokáže zabránit odstříku maziva. Využití má také u plastických maziv, kde zmenšuje odlučovatelnost oleje z plastického maziva.

### 3.2.5 Emulgační a demulgační přísady

Emulze jsou směsi oleje a vody. Používají se v provedení olej ve vodě jako řezná kapalina, nebo v provedení voda v oleji jako například těžko zápalné hydraulické oleje. Demulgátory jsou přísady, které zabráňují vzniku emulze oleje a vody. Jinak řečeno zapříčiňuje proces demulgace, tedy proces rozkladu emulze zpět na podíl oleje a vody. Oproti tomu emulgátory se používají právě v emulzích a zmenšují mezipovrchové napětí na rozhraní mezi fázemi oleje a vody.



### 3.2.6 Biocidy

Používají se zejména v emulzích, popřípadě při případném znečištění oleje vodou. Zabráňují vzniku mikroorganismů v oleji, či emulzi.

Jak jsem řekl dříve vlastnosti olejů se dosahuje použitím příslušných aditiv. Při provozu olejů však nastává mimo jiné problém ve chvíli, kdy se z jistých důvodů začnou aditiva z olejových náplní vytrácet. Oleje tedy začnou v tu chvíli ztrácet příslušné vlastnosti, což může mít nepřípustný dopad na mazaný systém.

## 4 Kapaliny pro hydraulické mechanismy

Asi bude nejlepší začít tím, k čemu nám slouží kapaliny v hydraulických mechanismech. Funkce kapaliny, respektive oleje, pro hydrauliku je tedy:

- Přenášení tlakové energie
- Mazání kluzných dvojic
- Odvádění tepla z míst s velkým vývinem tepla
- Odvádění nečistot
- Přenášení informací o tlaku v obvodu, které jsou potřeba pro řízení
- Je také nositel informací o tlakových signálech potřebných k řízení

Nutno dodat, že požadavek mazání kluzných dvojic je skutečně klíčový. Jinými slovy chceme po oleji aby vytvořil na kluzné ploše tenkou souvislou, dostatečně pevnou vrstvu mazacího filmu s cílem oddělit kluzné plochy takovou vrstvou maziva aby se vrcholky nerovností nedotýkaly a tím pádem vzniklo kapalinové, nebo-li viskózní tření.

O několik řádků výše jsem zmínil, že kvalita finálního oleje přímo závislá na kvalitě oleje základového. Z toho vyplývá, že dle metody výroby základového oleje určujeme i použití finálního oleje. Například minerální oleje použijeme spíše pro nízkotlaké, nebo středotlaké soustavy, což máme přibližně do 16 MPa. Zvlášť rafinované ropné oleje mají malou mazací schopnost.

Pro práci s vyššími tlaky je potřeba použít oleje s přísadami mazivostními, či protioděrovými, které mají snížit tření a opotřebení otěrových ploch. Pro extrémní smyková namáhání a vysoké tlaky pak přísady vysokotlaké s obsahem síry a fosforu. Stejně tak používáme tyto přísady pro přístroje citlivé na zadírání jako jsou pístové, či lamelové hydrogenerátory.

Pro celou kapitolu 3 jsem čerpal ze zdrojů 1 a 2.

## 4.1 Rozdělení hydraulických olejů

V zásadě můžeme popsat dva druhy hydraulických olejů. Jedná se minerální a syntetické.

### 4.1.1 Minerální oleje

Vyrábějí se z ropy pomocí postupů, které jsou popsány v první kapitole. Můžeme je rozdělit do několika tříd.

HH - Jsou to oleje bez přísad a proto jsou určeny pro hydraulické mechanismy pracující s nižšími a středními tlaky a výkony. Používají se tam, kde namáhání hydraulických soustav neklade vysoké požadavky na viskozitu a mazací schopnost.

HL - Oleje jsou obohaceny o přísady proti korozi a oxidaci a zvládají tedy větší zatížení. Konkrétně lze říct, že zvládají hydraulické obvody do 25 MPa a to s použitím zubových hydrogenerátorů, do 16 MPa pro obvody s pístovými hydrogenerátory.

HM – Jsou určeny pro práci s vysokými tlaky. Maximální pracovní tlaky souvisí opět na druhu pracovního hydrogenerátoru. Při axiálním pístovém hydrogenerátoru můžeme pracovat až s tlaky 45 MPa, při radiálním pístovém hydrogenerátoru až 75 MPa. Olej třídy HM zvládá vysoké teploty i mechanické namáhání a mají dobrou termooxidační stálost. Obsahují nejen přísady proti korozi a oxidaci, ale i protioděrové přísady. Norma DIN je označuje písmeny HLP a dává nám ještě další tři možné poddruhy.

- HLP – D      HLP + detergenty + disperzanty
- HLP – M      HLP + plošší viskózní křivka
- HLP – S      HLP + velmi plochá viskózní křivka

HV – Oleje třídy HV splňují stejné požadavky jako oleje HM, navíc zvládají ještě velké rozdíly teplot, to znamená, že dobře zvládají široké rozpětí teplot. Viskózní index mají minimálně 165.

Z každou z těchto tříd se můžeme potkat hned v několika provedeních s rozdílnou viskózní třídou. Přehled viskózních tříd je ukázán v tabulce 2. Dle zdroje [1] se však v praxi používá zejména šest viskózních tříd a to ISO VG 10, 22, 32, 46, 68, 100.

Viskózní třídy	Kinematická viskozita při 40°C [mm <sup>2</sup> · s <sup>-1</sup> ]	
	min	Max
ISO VG 2	1,98	2,42
ISO VG 3	1,98	3,52
ISO VG 5	4,14	5,06
ISO VG 7	6,12	7,48
ISO VG 10	9	11
ISO VG 15	13,5	16,5
ISO VG 22	19,8	24,2
ISO VG 32	28,8	35,2
ISO VG 46	41,4	50,6
ISO VG 68	61,2	74,8
ISO VG 100	90	110
ISO VG 150	135	165
ISO VG 220	198	242
ISO VG 320	288	252
ISO VG 460	612	506
ISO VG 680	900	748
ISO VG 1000	1 000	1 100
ISO VG 1500	1 350	1 650

Tabulka 2 Přehled viskózních tříd

#### 4.1.2 Syntetické oleje

Tyto oleje jsou vytvořeny a mají širokou škálu využití, jelikož mohou být vytvořeny s téměř libovolnými vlastnostmi proto se vyrábí dle potřeby v závislosti na očekávaných podmínkách. I proto jsou než oleje minerální. Mají dobrou oxidační stabilitu i při vysokých teplotách. Při práci s těmito oleji máme menší riziko požárů.

## 4.2 Požadavky na vlastnosti hydraulických olejů

Je hned několik vlastností olejů, které jsou klíčové nejen pro schopnost vytvořit dostatečně pevný mazací film, ale i pro schopnost plnit všechny ostatní požadované funkce. Následně je popsáno, které to jsou a co způsobují.

### 4.2.1 Viskozita

Je důležité nejdříve říci, že viskozita je vlastnost popisující míru vnitřního tření. Se zvyšující viskozitou nám rostou i tlakové ztráty, ale zároveň klesají průtokové ztráty. Viskozita ovlivňuje tloušťku mazacího filmu. Čím menší viskozita tím máme menší tloušťku mazacího filmu. Tím pádem pokud našemu oleji v soustavě příliš klesne viskozita může dojít k přerušení mazacího filmu, kontaktu kluzných ploch a opotřebování. Viskozita není stejná za všech podmínek, je závislá na teplotě a tlaku. Při rostoucí teplotě klesá viskozita, naopak při rostoucím tlaku roste i viskozita. Pracujeme-li však s tlaky do 100 MPa tak tuhle závislost zanedbáváme.

### 4.2.2 Viskózní index

Závislost viskozity na teplotě je popisovaná často grafem, či tabulkou. Graficky znázorněná závislost se nazývá viskózní křivka. Veličina viskózní index popisuje dle strmosti viskózní křivky závislost viskozity daného oleje na teplotě. Máme-li viskózní křivku plošší je viskózní index vyšší, jinak řečeno závislost je menší.

Například olejům, které mají tuto závislost vysokou, při nízkých teplotách viskozita vzroste natolik, že kvůli zvýšené viskozitě budeme mít takové tlakové ztráty, že se prodlouží doba rozběhu mechanismu, mechanismus bude mít také pomalejší chod a může se nakonec stroj úplně zastavit. V sacím potrubí vzniká podtlak, který způsobí vylučování plynů z kapaliny a dojde ke kavitačním jevům a klidně k přerušení přítoku kapaliny do hydrogenerátoru.

V opačném případě, tedy v případě kdy teplota roste se sníží viskozita natolik až hrozí zadření prvků hydraulických, či jiných soustav.

#### 4.2.3 Stlačitelnost

Stlačitelnost lze popsat jako schopnost kapalin při zvyšování tlaku zmenšit svůj objem. Tento jev chceme u hydraulických olejů minimalizovat. K vyjádření míry stlačitelnosti používáme buď modul objemové stlačitelnosti, což je jinak řečeno modul pružnosti, nebo součinitelem stlačitelnosti.

Veličina modul stlačitelnosti se stejně jako viskozita mění s teplotou a tlakem, ale větší vliv na stlačitelnost oleje má obsah volného vzduchu v kapalině. Do oleje se atmosférický vzduch rozpouští v nádrži na hladině oleje a tento rozpuštěný vzduch zatím nemá vliv na stlačitelnost kapaliny.

Problém nastává ve chvíli kdy tlak v kapalině klesne pod hladinu atmosférického tlaku. V té chvíli se začnou uvolňovat do oleje bublinky. A pokud tlak poklesne o 0,04 MPa je uvolňování rychlé a může dojít ke vzniku emulze oleje a vzduchu. Nastává to v místech jako je například sací potrubí (předchází se tomu zvětšením jeho průměru). Také za škrtícími ventily, nebo za šoupátky rozvaděčů při jejich zavření.

Je třeba si uvědomit, že proces opačný od procesu uvolňování bublinek při podtlaku je mnohem pomalejší a tím pádem nám bublinky zůstávají v oběhu a snižují nám modul objemové stlačitelnosti.

#### 4.2.4 Měrná tepelná kapacita

S touto vlastností pracují hlavně konstruktéři hydraulických mechanismů při návrhu chlazení. Je to schopnost kapaliny přijímat a akumulovat teplo a ovlivňuje časovou konstantu ochlazení nebo oteplení hydraulického obvodu.

#### 4.2.5 Mazací schopnost

Jde o schopnost kapaliny popisující jak je daná kapalina schopna vytvořit tenkou a souvislou, přesto dostatečně pevnou vrstvu filmu maziva na kluzných plochách za cílem oddělit kluzné plochy. Z teorie o tření víme, že v tento druh mazání je kapalinové, nebo-li viskózní.

O mazacích schopnostech, už jsem se zmínil i v jiných odstavcích, takže jen shrnu. Každá třída základového oleje má jinou mazací schopnost. Viskozita oleje nám ovlivňuje tloušťku mazacího filmu.

Máme-li v oleji vysokotlaké a mazivostní přísady, tak podle normy ISO jsou tyto oleje označeny HM a HV, popřípadě při normě DIN mají označení HLP. Více o rozdělení hydraulických olejů v kapitole 3.1.1.

Existuje i norma na hodnocení mazacích schopností. Dle této normy se lamelový hydrogenerátor nechá pracovat při přesně daných podmínkách po dobu 250 hodin provozu. Následně se hodnotí jeho opotřebení

#### 4.2.6 Pěnivost kapalin

Pěnění oleje souvisí s povrchovým napětím mezi fází plynu a oleje. Pěna v oleji zapříčiňuje řadu problémů. Urychlení stárnutí oleje, sníží pevnosti mazací vrstvy a zvyšuje stlačitelnost. Jednou z možností jak odloučit pěnu od oleje je vhodné umístění sít a přepážek, či vhodnou polohou odpadních a sacích hadic. Ovšem jsou případy, kdy by ani tohle stačit nemuselo. V tom případě přistupujeme k protipěnivostním přísadám.

#### 4.2.7 Bod vzplanutí

Další z vlastností, kterou sledujeme u olejů je bod vzplanutí. Přiblíží-li se při této teplotě plamen k oleji po dosažení této teploty, tak se vznítí hořlavé páry, ovšem kapalina ještě hořet nezačne. Další teplota důležitá pro charakteristiku oleje je teplota hoření. Při této teplotě se již vyvíjí z oleje tolik par, že po zapálení trvale hoří.

Norma ČSN rozděluje oleje dle bodu vzplanutí do čtyř tříd. Třída I jsou oleje s bodem vzplanutí do 21 °C, třída II jsou oleje do 65°C. Další třída zahrnuje oleje s bodem vzplanutí do 125°C a poslední třída jsou oleje s bodem vzplanutí na 125°C. Prakticky všechny hydraulické oleje jsou dnes třídy poslední, tedy IV i přesto pro ně platí přísné bezpečnostní pravidla.



#### 4.2.8 Oxidační stálost

Jedná se o vlastnost popisující, jak je daná kapalina odolná vůči působení kyslíku, chemických látek a několika druhů energií jako je energie tepelná a světelná. Začnou-li působit na olej tyto účinky, olej začne postupně degradovat. Jinými slovy probíhá stárnutí oleje. Mimo zmíněné vlivy může stárnutí oleje ovlivnit i obsah vody v kapalině, nebo obsah nečistot a otěru. Oxidační stálost lze u oleje určit. V tomto testu se za přesně daných podmínek měří doba, za kterou stoupne kyselost oleje na 2 mg KOH/g. Aditiva podporující oxidační stálost je nazývají antioxidanty.

Oxidace je přirozený jev, který je běžný pro ropné látky a nelze se mu vyhnout. Jak jsem již popisoval v kapitole 2.1.1, dochází k němu při kontaktu hladiny ropné látky a vzduchu. Produkty oxidace jsou měkké kaly a laky, ty zanáší mazací systém. Oxidací vzniklé úsady jsou také lepivé a to znamená, že na sebe nabalují pevné částice. Úsady na povrchu zasaženého objektu narušují mazací film a tím se zvyšuje tření. Zvýšené tření způsobuje lokální zvyšování teplot a může zapříčinit nespočet dalších problémů, jako je zvýšené namáhání a opotřebení stroje, zrychlení degradace oleje a samozřejmě vznik dalších úsad. Produkty oxidace mohou mít také vliv na viskozitu, či kyselost oleje a ta je právě jedním z ukazatelů míry degradace olej. Je třeba si také uvědomit, že degradace způsobuje také zakalení oleje. Voda v olejové náplni není tudíž jediná příčina zakalení oleje. Proces oxidace je výrazně podporován teplotou. Uvádí se, že zvýšení teploty o 10°C se rychlost oxidace přibližně zdvojnásobí.

Ropné látky se skládají z uhlovodíků, kterých je několik základních typů. Nasycené uhlovodíky, nenasycené uhlovodíky a aromatické uhlovodíky. Každý z těchto typů má jinou oxidační stálost. Na oxidační stálost má zásadní vliv procentuální obsah jednotlivých typů uhlovodíků.

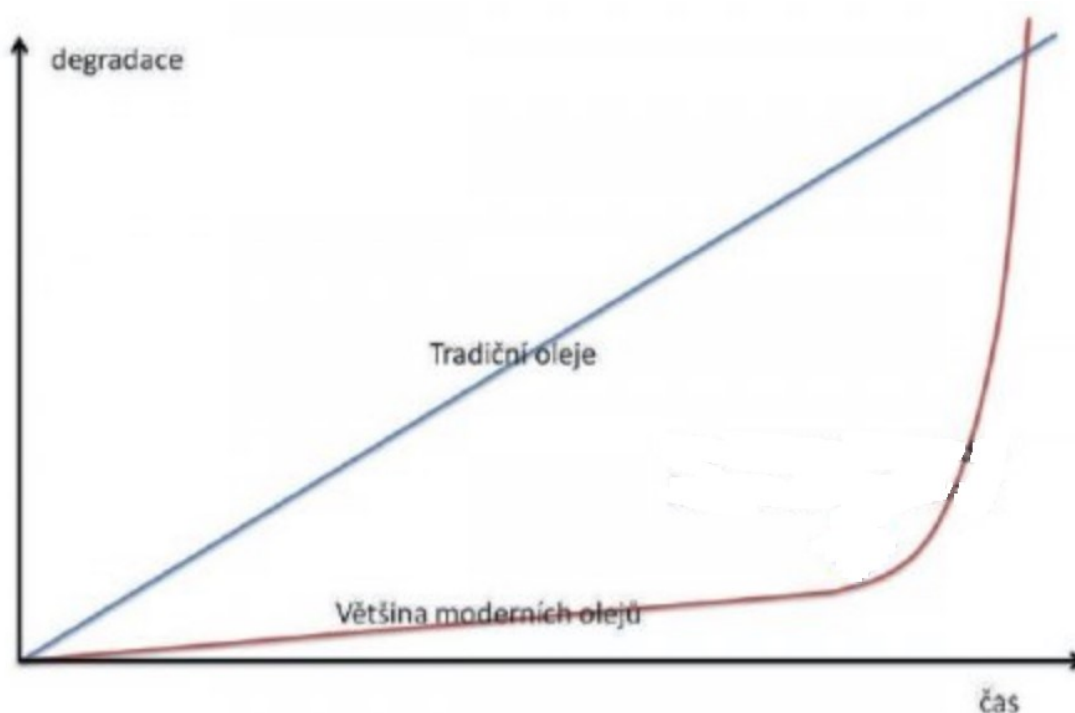
Nasycené uhlovodíky jsou oxidačně nejstabilnější složkou. Je to díky tomu, že atomy uhlíků v molekulách nenasycených uhlovodíků mají obsazené všechny vazby vodíky, nebo jinými uhlíky. Mezi těmito prvky jsou vždy jednoduché vazby a nemůže se tedy stát, aby se na nějakou vazbu připojil atom kyslíku, což nastává právě při oxidaci.

Mezi uhlíky v nenasycených uhlovodících jsou některé vazby dvojné. Stává se tedy, že se jedna z těchto dvou vazeb uvolní a obě právě vzniklé vazby budou obsazeny atomy kyslíku. To je nežádoucí jev.

Dalším typem uhlovodíku jsou uhlovodíky aromatické. Říká se jim také uhlovodíky cyklické. Co se týká stability na úrovni mezi dříve zmíněnými typy.

Právě obsah jednotlivých typů uhlovodíků se u olejů sledují a jsou jasným ukazatelem kvality, respektive oxidační stálosti oleje.

Příchodem nových olejů a vývojem technologií jejich výroby se mění i oxidační stálost olejů. Tento rozdíl nám popisuje obrázek č. 1. Zatímco tradiční oleje degradují v čase lineárně u moderních olejů degradace je velice pomalá do doby, než vyprchají antioxidanty v té chvíli míra degradace začne rapidně stoupat.



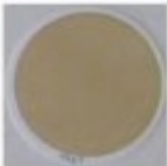



Obrázek 1 Průběh degradace olejů [7]

Tento jev způsobuje skutečnost, že ve starších typech olejů se produkty oxidace mohou mnohem více rozpouštět (oleje získají načervenalou a hnědočervenou barvu) až postupem času se velikost molekul oxidačních produktů zvětšuje a nastávají problémy s rozpustností. Naopak moderní hydrokrakované oleje mají sice vysokou oxidační stabilitu,

ovšem vzniklé oxidační produkty se nedokáží v nich rozpustit. Pokud už se tedy oxidace začne rozvíjet, má velice rychlý průběh. Právě kvůli náhlé a rychlé oxidační degradaci musíme sledovat stav antioxidantů v olejové náplni, abychom mohli rychle na situaci reagovat. Je hned několik způsobů jak sledovat stav antioxidantů v olejové náplni.

Jedna z těchto metod je MPC (Membrane patch colorimetr) analýza. Tato metoda měří množství produktů oxidace, proto se metoda používá hlavně pro oleje třídy II a vyšší. V olejích třídy I se totiž produkty oxidace jsou schopny rozpustit a jelikož čím dál tím více roste používání základových oleje tříd vyšších, roste i použití MPC analýzy. Přístroj ve kterém se to provádí je kolorimetr. Samotná podstata zkoušky spočívá ve filtrování oleje smíchaného s rozpouštědlem přes filtrační membránu přes s póry o velikosti  $0,45\ \mu\text{m}$ . Na membránu se zachytí produkty degradace s nerozpustnými nečistotami, membrána se zabarví a kolorimetr dle zbarvení vyhodnotí. Čím větší znečištění tím větší číslo dá kolorimetr v hodnotách  $\Delta E$  a tím je i větší pravděpodobnost vzniku dalších úsad. Vyhodnocení hodnoty  $\Delta E$  provádíme pomocí normy ASTM D7843. Norma udává čtyři stavy, které mohou nastat, tyto stavy jsou znázorněny na obrázku 2.

$\Delta E < 15$ normální stav 	$\Delta E = 15 - 30$ zhoršený stav 	$\Delta E = 30 - 40$ abnormální stav 	$\Delta E > 40$ kritický stav 
---	--	---	---

Obrázek 2 třídy stavů olejů dle normy ASTM D7843 [7]

Další metoda jako vyhodnotit míru degradace oleje metoda RULER (Remaining Useful Life Evaluation Routine). Výsledkem této metody je míra obsahu antioxidantů v oleji, či mazivu. Přístroj pracuje s principem voltametrie a dokáže identifikovat druhy antioxidantů. Pomocí porovnání s referenčním vzorkem zjistíme, který antioxidant byl do jaké míry vyčerpán.

#### 4.2.9 Číslo kyselosti

Číslo kyselosti popisuje stupeň zestárnutí oleje. Říká jaké množství hydroxidu draselného (KOH) potřebujeme pro neutralizace oxidačně zestárlého oleje.

#### 4.2.10 Korozní působení na kovy

Jedná se o hodnocení korozního působení kapalin na ocel a měď. Jedním z úkolů olejové náplně je totiž chránit povrch materiálů proti vlhkosti a zabránit tak korozi. Tuto vlastnost podporují jednak antikorozní přísady, ale také deemulgační přísady.

#### 4.2.11 Snášlivost s elastomery

I to jestli si naše pracovní náplň sedne s elastomery, respektive s pryžovými hadicemi a těsněními je pro nás podstatné. Tím nejpoužívanějším materiálem je nitrabutadienová pryž (NBR), nebo akrylnitributadienová pryž, ta odolává olejům přibližně do 100°C. Sledujeme také bobtnavost. Ta se hodnotí testy pomocí normy ISO.

#### 4.2.12 Fyziologické a ekologické vlastnosti.

Co se týká znečištění vod pracovními látkami, existují třídy pro hodnocení nebezpečnosti kapaliny pro vodu. Třídy se nazývají WGK (wassergefährdungsklasse) a jsou čtyři (WGK 0 – WGK 3). První třída popisuje látky jako nebezpečné pro vodu a třída třetí jako silně nebezpečné pro vodu. Vyhodnocuje se dle působení látek na vodní živočichy a další organismy. Ropné produkty bývají zařazeny do tříd WGK 2 (slabě nebezpečné pro vodu) nebo WGK 3. Oleje vytvoří tenkou vrstvu na hladině vody, brání okysličování vody a organismy a živočichové zahynou. Pro pitnou vodu je stanovena hodnota limitu na 0,05 mg/l.

OECD test je test, kterým se zjišťuje biologická odbouratelnost látky. Látka je aplikovaná na půdu, ve které se mikroorganismy nachází a sleduje se jejich odbourávání. Aby se mohl olej nazývat biologicky odbouratelný musí se během 28 dnů odbourat minimálně ze 70%.

Oleje mají také škodlivý vliv na organismus lidský. Při kontaktu mohou nastat kožní onemocnění, ty jsou nejčastější. Naši kůži nejvíce vadí například aditiva v olejích, některé uhlovodíky, nebo kyselé zplodiny. Při vdechnutí mohou podráždit nejen dýchací, ale i jiné orgány. Na tento účinek si musíme dát pozor zejména v uzavřených prostorách, kde se kapalina může intenzivně odpařovat a nevětrat. Na lidský organismus mohou mít také účinky karcinogenní. Byť některé karcinogenní látky by samotné jako pracovní látky byly více než vyhovující, tak je jejich používání zakázáno. Nicméně karcinogenní látky se nachází v minerálních olejích, proto je jejich používání například v zemědělství omezováno.

Každý olej musí mít svůj bezpečnostní list. V tomto listu jsou veškeré informace o tom, jak se zachovat při úniku oleje do přírody, jaká je nejvhodnější první pomoc při kontaktu s kůží či požití látky, ale také ochranné pomůcky při práci s nimi a čemu se vyvarovat aby k tomu nedošlo. Popisují také podmínky skladování, či postup likvidace. Tento bezpečnostní list je výrobce, respektive prodejce uživateli povinen poskytnout.

#### 4.2.13 Ekonomické vlastnosti

Je mnoho faktorů, na které je potřeba myslet při provozu olejové náplně, či jiné pracovní kapaliny. Není správné řešení pouze vybrat nahodilý olej, nalít ho do pracovního prostoru a nechat ho bez starostí pracovat neomezeně dlouho. Při použití nesprávné náplně můžeme udělat víc škody než užitku. Proto pro volbu správné náplně je nejjednodušší obrátit se na výrobce daného stroje. Údaje o druhu provozní náplně, včetně jeho potřebného množství i jak často a jakým způsobem provést samotnou výměnu oleje můžeme nalézt v provozní dokumentaci stroje.

Důvod proč se řídit intervaly výměn pracovní kapaliny potom vychází ze skutečnosti, že v provozu pracovní náplň ztrácí své vlastnosti a může ničit mazaný systém. Necháme-li takto pracovní náplň bez zásahu pracovat příliš dlouho, může dojít k havárii a ta může způsobit mnohem větší finanční ztráty než nová olejová náplň. Nesmíme totiž zapomenout, že při havárii nejsou náklady spojené pouze s náklady opravou stroje, ale také s prostoji. Jinak řečeno přicházíme o peníze tím, že stroj nevyrábí a dokonce to může zastavit celý výrobní uzel.

Je však i varianta, která je ještě ekonomičtější. Budeme-li postupovat vždy dogmaticky dle návodu k údržbě, může dojít k případu, kdy se zbytečně zbavíme oleje vyhovujícího pro provoz. Jedním z cílů tribologických kontrol je právě tomuto zabránit. V jistých intervalech proto zkoumáme stav oleje abychom správně určili termín další výměny, popřípadě přistoupili k nějakým nápravným opatřením za účelem navrácení požadovaných vlastností pracovní kapalině, jako jsou filtrace, přidání aditiv, nebo například přimíchání nového oleje.

V provozu potřebujeme počítat i s mnoha dalšími okolnostmi, které mohou být finančně nákladné. Jedná se o jejich dopravu a následné skladování. To znamená zajištění takových skladovacích a provozních podmínek, aby nemohlo dojít k úniku oleje, nebo požáru. Samozřejmě i již zmíněnou filtraci, regeneraci, či tribologické rozborů pracovní náplně musíme zahrnout do provozních nákladů. V případě ekologicky závadných kapalin musíme počítat i s likvidací použitých kapalin, filtrů a čisticích prostředků.

## 5 Péče o hydraulické oleje v průběhu jejich provozu

V předchozích kapitolách jsem se hodně rozepisoval, které parametry je důležité sledovat u hydraulických olejů a co se stane s hydraulickým mechanismem, když olej o špatných vlastnostech nechám v daném mechanismu pracovat.

Jak se tedy zachovat když zjistím, že pracovní kapalina už nevyhovuje potřebným parametrům? Musím vždy přistoupit k tak razantnímu řešení jako je výměna olej?

Řešení je složitější, než se může na první pohled zdát. Samozřejmě je důležité brát ohled na několik věcí. Jednak míru dopadu havárie systému na výrobní proces, bezpečnost a zdraví pracovníků, nebo třeba na možné ekologické následky. A samozřejmě mne zajímá, které vlastnosti a hlavně jak moc se odchýlily od ideálního stavu.

Jednou z možností jak snížit pravděpodobnost poruchy systému je postupovat přesně dle pokynů výrobce. To znamená v intervalech daných provozní dokumentací, provádět údržbářské operace (výměna olejových náplní, výměna filtrů, apod.). V tomto případě se však může stát, že vyměním olejovou náplň ve chvíli, kdy olej by mohl ještě dlouho pracovat a zvláště u velkých nádrží vynaložím nemalé finanční prostředky na výměnu ještě dobrého oleje. Naopak se může stát, že na konci intervalu už olej dlouho není ve stavu, kdy vyhovuje kritériím. Zařízení tedy pracuje s pracovní kapalinou ve špatném stavu. Tato metoda mi tedy sníží poruchovost provozovaných zařízení a přináší mi množství výhod a také úspory. Nevýhodou ovšem je, že neznám skutečný stav zařízení ani pracovních náplní. Nicméně se mi tady otevírá varianta jak ušetřit za provoz strojů ještě více.

Budu-li průběžně sledovat stav zařízení, nemusí se nutně jednat pouze o olejové náplně, může na vzniklý vztah reagovat. Zůstanu-li teď u olejů tak v případě kdy zjistím, že stav olejové náplně je ještě vyhovující můžu jej ještě ponechat, naopak pokud zjistím, že je nevyhovující dříve než má dojít k výměně můžu na to reagovat a provést nápravné opatření ihned.

Mám hned několik možností jak reagovat na nevyhovující oleje. Samozřejmě záleží co se s olejem v pracovním oběhu děje respektive, které vlastnosti olej již po nějaké době provozu postrádá.

Aditiva se z oleje v průběhu plnění jeho funkce spotřebovávají. Je to proces, kterému nelze zabránit. Máme několik možností jak oleji ztracené vlastnosti, alespoň částečně vrátit. Jednak existují samostatné „balíčky“ aditiv, které můžeme dle potřeby do olejové náplně doplnit. Tato metoda je však poměrně drahá. Další z možností je výměna jen části olejové náplně. Promíchání s dostatečným množstvím nového oleje se aditiva dostanou opět nad potřebnou hranici. To je však pouze provizorní řešení vhodné ve chvíli, kdy nelze stroj odstavit na dostatečně dlouhou dobu.

Ani když se v pracovní kapalině zvýší množství mechanických nečistot, není nutné hned přistupovat k výměně oleje. Samozřejmostí hydraulického obvodu jsou filtry, které průběžně musíme měnit. Interval výměn také určuje výrobce, jsou kratší než výrobcem dané výměny oleje. V provozu nesmíme, však zapomenout na výměnu filtru vždy ve chvíli kdy měníme olejovou náplň ať je to v intervalu nebo ne.

Další možností jsou obtokové filtrační systémy. Tyto systémy pracují s jemnými filtračními vložkami s filtrovatelností i pod 1  $\mu\text{m}$ . Tyto filtrační vložky mají velké tlakové ztráty, nemohou být tedy zapojeny klasicky v hydraulickém obvodu, a proto se zapojují ve vlastním okruhu. Tyto obtokové filtrace samy čerpají olej z nádrže, olej filtrují a opět vrací do nádrže.

Samostatnou kapitolou je regenerace olejů. Cílem regenerace je navrátit oleji úplně stejné vlastnosti jaké měl na začátku jeho provozu. Olej je vyliť z celého systému a zkrátka zbaven všech látek a nečistot, které jsou nežádoucí. Naopak jsou přidány aditiva v takovém množství, jako měl olej na začátku své životnosti.



## 6 TATRA METALURGIE a.s.

Mým úkolem pro diplomovou práci je aplikace technické diagnostiky na hydraulických agregátech slévárny ve firmě TATRA METALURGIE a.s., dceřiné společnosti firmy TATRA TRUCKS a.s. Tamní specialista údržby pan Ing. Emil Suchánek mne požádal o analýzu stavu oleje pro tři zařízení a vibrační diagnostiku několika ložisek a následně i termodiagnostiku hydraulického rozvaděče jednoho ze strojů.



TATRA METALURGIE a.s. se rozděluje v zásadě na dvě části. Jedná se o slévárnu a kovárnu. Výkovky a odlitky firmy poskytuje výrobcům zemědělských strojů a stavebních strojů, do železničního a hlavně automobilového průmyslu. Dvorním odběratelem je samozřejmě firma TATRA TRUCKS a.s.

Činnost slévárny je soustředěna mimo jiné na výrobu odlitků z šedé a tvárné litiny. Odlitky z těchto materiálů zvládne vyrobít až do 400 kg. Odlitky z oceli poté do 120 kg. Celkově za jeden rok dokáže firma vyprodukovat až 30 000 tun.

Gravitačním litím do kokil, nebo litím do pískových forem se provádí ve firmě i lití hliníku. Takto zvládají vytvořit celkově až 2 000 tun ročně.

Část kovárny umí vyrobít výkovky pěchované, rotační i jinak tvarově složité a to od hmotnosti 0,5 kg až 60 kg z uhlíkových i legovaných ocelí. Mimo jiné firma nabízí i kusovou výrobu produktů do 140 kg. Kapacita kovárny je výroba až 15 000 tun za rok.

Pro tuto kapitolu jsem čerpal ze zdroje 9.

## 6.1 Aplikace metod technické diagnostiky na slévárně

V rámci diplomové práce jsem se zaměřil na celkem pět zařízení a na nich byly aplikovány tyto metody technické diagnostiky.

### 6.1.1 Rozbor hydraulického oleje

Rozbory olejů jsem prováděl v laboratořích VŠB-TUO .

- **Obsah vody** v olejové náplni jsem zjišťoval Coulometrickou titrační metodou. Měření pro každý vzorek jsem prováděl vždy třikrát. Konečnou hodnotu jsem získal zprůměrováním těchto tří hodnot.
- **Viskozita oleje.** Viskozitu jsem zjišťoval pomocí viskozimetru.
- **Číslo kyselosti (TAN)** jsem zjišťoval metodou titrace na barevný indikátor. I zde bylo potřeba provést měření několikrát pro každý vzorek a následně výsledky zprůměrovat.
- **Obsah mechanických nečistot.** Pro zjištění obsahu mechanických nečistot byl olej nejdříve přefiltrován filtračním papírkem o jemnosti  $0,45\ \mu\text{m}$  a filtrační papírek byl prozkoumán pod mikroskopem. Pomocí čítače částic bylo spočítáno množství mechanických nečistot a jejich velikosti. Dle toho byl určen kód čistoty oleje a to podle normy ČSN ISO 4406/99 a NAS 1638.
- **Koncentrace otěrových a aditivačních prvků.** Jako metoda pro analýzu této vlastnosti byla použita rentgenová analýza. Metoda je schopna odhalit míru koncentrace každého prvku z periodické soustavy prvků. Koncentrace aditivačních prvků se vyhodnocuje vždy v porovnání s referenčním, tedy nepoužitým olejem stejného typu. Pro obsah mechanických nečistot lze stanovit jejich limitní hodnoty v závislosti na typu hydraulických mechanismů v obvodu. U koncentrace aditivačních prvků nastal tedy problém, jelikož jsem neměl referenční vzorek k dispozici.

### 6.1.2 Vibrodiagnostika

Princip vibrační diagnostiky pracuje se skutečností, že každý pracující stroj budí vibrace, které jsou složené z dílčích vibrací jednotlivých dějů v soustavě stroje. Každý z těchto dějů však budí vibrace na jiné frekvenci a pomocí rychlé fourierovy transformace můžeme celkový časový záznam vibrací stroje transformovat do takzvaného frekvenčního spektra a sledovat velikost vibrací na dílčích frekvencích. Jelikož je známo, které děje v soustavě pracují na které frekvenci, jsme schopni analyzovat ve frekvenčním spektru ty děje, které poukazují na nějakou závadu v systému. Tuto závadu následně můžeme odstranit. Při dlouhodobém zaznamenávání trendu vibrací je možné predikovat stav stroje.

Pro diplomovou práci jsem použil metodu vibrodiagnostiky pro diagnostikování stavu ventilátoru a vibrátorů.

### 6.1.3 Termodiagnostika

Tato metoda je založena na tom, že každé těleso emituje infračervené záření, které lidské oko není schopno spatřit. Termokamery jsou schopny infračervené záření přicházející do její čočky detekovat a následně graficky zobrazit. Nevýhodou je, že povrch každého tělesa odráží infračervené záření okolních těles a u některých materiálů musíme myslet i na infračervené záření procházející měřeným tělesem. Právě míra infračerveného záření které vychází z tělesa ( $\varepsilon$  - emisivita), které je odrazem okolních těles ( $\rho$  - reflexivita) a záření procházející tělesem ( $\tau$  – transmisivita) je klíčová pro měření teplot těles termokamerou. Pracovník provádějící měření termokamerou musí před samotným měření správně určit právě emisivitu daného tělesa a to společně s určením zdánlivě odražené teploty. Pro obě tyto veličiny je hned několik metod jak to zjistit.

Pro zjištění zdánlivé odražené teploty jsem použil metodu se pokrčeným alobalem. Ten jsem postavil před měřený objekt rovnoběžně s povrchem měřeného objektu. Pomocí funkce „rámeček“ v termokameře jsem změřil průměrnou teplotu alobalu. Jelikož vím, že veškeré záření vycházející od alobalu je odražené od okolí, беру jej jako reprezentativní vzorek vlivu okolní teploty na měřený objekt. Takto jsem změřil zdánlivě odraženou teplotu třikrát, hodnoty zprůměroval a zadal do termokamery.

Po měření zdánlivě odražené teploty jsem přistoupil ke zjišťování emisivity povrchu měřeného tělesa. Na povrch tělesa jsem nalepil černou elektrikářskou pásku a nechal ji dostatečně slouhou dobu aby se co nejvíce přiblížila teplotě měřeného objektu. Do termokamery jsem zadal emisivitu 0,95 protože to je emisivita pásky. Teď už pouze zbývalo změřit teplotu v bodě, kde je nalepená páska abych věděl jaká je teplota povrchu objektu. Následně, po změření teploty bodu hned vedle pásky, jsem měnil nastavení emisivity v termokameře tak dlouho dokud teploty nebyla totožná s teplotou naměřenou na pásce. Vše bylo provedeno třikrát a naměřené hodnoty emisivit zprůměrovány a zadány do termokamery.

Po tomto postupu již bylo možné přistoupit k samotnému měření

#### 6.1.4 Přiřazení metod k jednotlivým strojům

- **Hydraulický lis CPS 160** (Paketový lis)
  - Rozbor hydraulického oleje
  - Termodiagnostika hydraulického rozvaděče
- **TELLUS**
  - Rozbor hydraulického oleje
- **MALLCUS**
  - Rozbor hydraulického oleje
- **LAMBERTON**
  - Vibrodiagnostika vibrátorů
- **Ventilátor- odsávání haly**
  - Vibrodiagnostika ventilátoru a elektromotru

Popisem jednotlivých strojů se budu zabývat níže.

## 7 Hydraulický lis CPS 160

### 7.1 Popis funkce

Slouží k lisování kovového odpadu. Na konci procesu vychází kovový šrot ze stroje ve formě paket z toho je odvozen slangový název stroje, který používají ve firmě a to je „Paketový lis“. Lis se skládá se ze dvou částí hydraulické a mechanické. Vše začíná u mechanické části, kde se nejdříve kovový šrot nasype pomocí magnetu připevněném na jeřábu a slisuje se pohybem shrnovací násypky. Dále je materiál stlačen předlisem. Poslední krok je dolis. V této fázi je kovový materiál stlačen největším tlakem. Stlačené pakety je poté z hradítka vytlačen ze stroje pryč a všechny mechanismy se vrátí do základní polohy. Celý proces lze provádět v automatickém, nebo ručním režimu. [11]

### 7.2 Hydraulický mechanismus

Pracovní kapalina stroje je HLP 46. V olejové nádrži se nachází 1 500 l tohoto oleje. Hlavní pohyb kapaliny zajišťuje čerpadlová kombinace tří hydrogenerátorů poháněné jedním elektromotorem o výkonu 75 kW, pracující s otáčkami  $1485 \text{ min}^{-1}$ . Zmíněné hydrogenerátory jsou všechny rotační pístové s pevnými písty, jednosměrné a až na jeden neregulovatelné.

V obvodu jsou také regulovatelné pojistné ventily, vestavěné ventily s podložkou. V obvodu je použit jeden druh rozvaděče, ale zastoupen devatenácti kusy. Jedná se o šoupátkové, rozvaděče firmy REXROTH. Tyto rozvaděče jsou dvoucestné a dvoupolohové, ovládání je pomocí elektromagnetu a vymezené jsou pružinou.

Hydraulický obvod zajišťuje pohyb čtyř přímočarých hydromotorů různých velikostí, které zajišťují funkci předlisu, dolisu, shrnovací násypky a hradítka.

Nádrž disponuje vlastní obtokovou filtrací s detektorem znečištění firmy HYDAC a vodním chladičem. Tlak ve větvi filtru je 10 barů.

Dále jsou v hydraulickém okruhu dva vzduchové filtry umístěné v nádrži a filtr chladící kapaliny. [11]

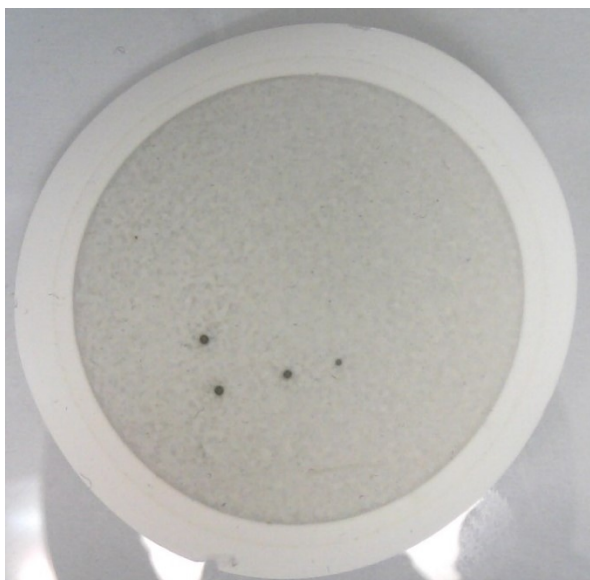
## 7.3 Aplikace technické diagnostiky

Pro tento stroj jsem byl nejprve požádán o rozbor hydraulického oleje. Olej v době odběru měl za sebou 4 roky práce. Vzorek byl odebrán přímo z olejové nádrže. Konkrétní parametry oleje zjištěných z rozboru oleje jsou uvedeny v tabulce 3. V tabulce jsou tyto hodnoty také porovnány limitními hodnotami. Limitní hodnoty čistoty oleje jsem stanovil ve spolupráci vedoucím práce.

Parametr	Metoda	Jednotky	Zjištěná hodnota	Min. limitní hodnota	Max. limitní hodnota	Hodnocení stavu
Kin. viskozita při 40 °C	ČSN EN ISO 3104	mm <sup>2</sup> /s	45,6	41,4	50,6	V pořádku
TAN (číslo kyselosti)	ČSN ISO 6618	mgKOH/g	0,251		1,3	V pořádku
Obsah vody	ČSN EN ISO 12937	hm. %	0,0016		0,02	V pořádku
Kód čistoty	ČSN ISO 4406/99		16/15/14		19/16/14	Zvýšená nečistota
Třída čistoty	NAS 1638		8		9	V pořádku

Tabulka 3 Chemicko-fyzikální parametry hydraulického oleje hydraulického lisu CPS 160

I přes poměrně velkou délku provozu jsou chemicko-fyzikální parametry oleje zachované, kromě zvýšenému kódu čistoty, to však není markantní. Větší problém může však naznačovat barva filtračního papírku. Ten je na hydraulický olej příliš znečištěný.



Obrázek 4 Ultrafiltr - hydraulický lis CPS 160

Rentgenovou analýzou jsme zjistili koncentraci jednotlivých mechanických nečistot a aditivačních prvků.

Prvky	Jednotky	Zjištěná hodnota	Hodnota výstrahy	Maximální limitní hodnota	Zhodnocení stavu
Fe	Ppm	< 1,0	25	50	V pořádku
Cu	Ppm	13,2	30	40	V pořádku
Cr	Ppm	187,9		15	Vysoká hodnota prvku
Sn	Ppm	< 3,0		15	V pořádku
Si	Ppm	< 1,0	20	40	V pořádku

Tabulka 4 Koncentrace ořezových prvků v hydraulickém oleji hydraulického lis CPS 160

Rentgenová analýza zjistila extrémně vysoké množství chromu.

Pomocí této metody zjistíme i obsah prvků, které bývají součástí aditiv. Množství těchto prvků následně porovnáváme s obsahem stejných prvků v referenčním vzorku, to znamená ve stejném typu oleje, ale dosud nepoužívaným. To se však v tomto případě nepodařilo zrealizovat, jelikož v této firmě olejové hospodářství zařizuje externí firma a nemají tedy náhradní olej na skladě. Pro diplomovou práci jsem prováděl rozbor olejí pro celkem tři stroje a všechny mají stejný typ oleje. Porovnávali jsme tedy tyto oleje mezi sebou. Je to však pouze orientační.

Prvky	Jednotky	Zjištěná hodnota	Zhodnocení stavu
S	Ppm	13,2	V pořádku
P	Ppm	< 3,0	Nízká koncentrace
Na	Ppm	4350	V pořádku
Zn	Ppm	3,3	Nízká koncentrace
Ca	Ppm	< 10	V pořádku

Tabulka 5 Koncentrace aditivačních prvků hydraulickém oleji hydraulického lisu CPS 160

Oproti ostatním dvěma vzorkům má tento vzorek nízkou koncentraci fosforu a zinku. Tyto prvky jsou často součástí protioděrových přísad. Pokud se vyčerpaly protioděrové přísady vysvětluje to i vysoký obsah chromu. Pochromovány bývají povrchy pístu.

### 7.3.1 Doporučení

Olej má vysoký kód čistoty. Obsah chromu je extrémně vysoký. Jedná-li se opravdu o stejný typ oleje jako v ostatních nádržích, je obsah protioděrových přísad příliš nízký. Doporučuji olej vyměnit. V případě, že nelze stroj hned odstavit a provést výměnu, doporučuji vyměnit alespoň část nádrže, je to však provizorní řešení.



## 7.4 Termodiagnostika hydraulického rozvaděče

Místní údržbáři řeší s tímto strojem problém s automatickým chodem stroje. Zvýší-li se teplota hydraulického oleje na 40°C stroj se v průběhu cyklu vypne a do doby než teplota neklesne na 37°C nejde stroj znovu v automatickém režimu spustit. Proces lze dokončit v ručním režimu. K vypnutí dochází při jedné z těchto tří fází procesu.

Při vysunutí hydraulického válce hradítka. Válec se sice vysune do maximální polohy, ale s tlakem pod 320 bar, který je dle provozní dokumentace napsán jako podmíněný pro další operaci. Cyklus je nutné dokončit v ručním režimu.

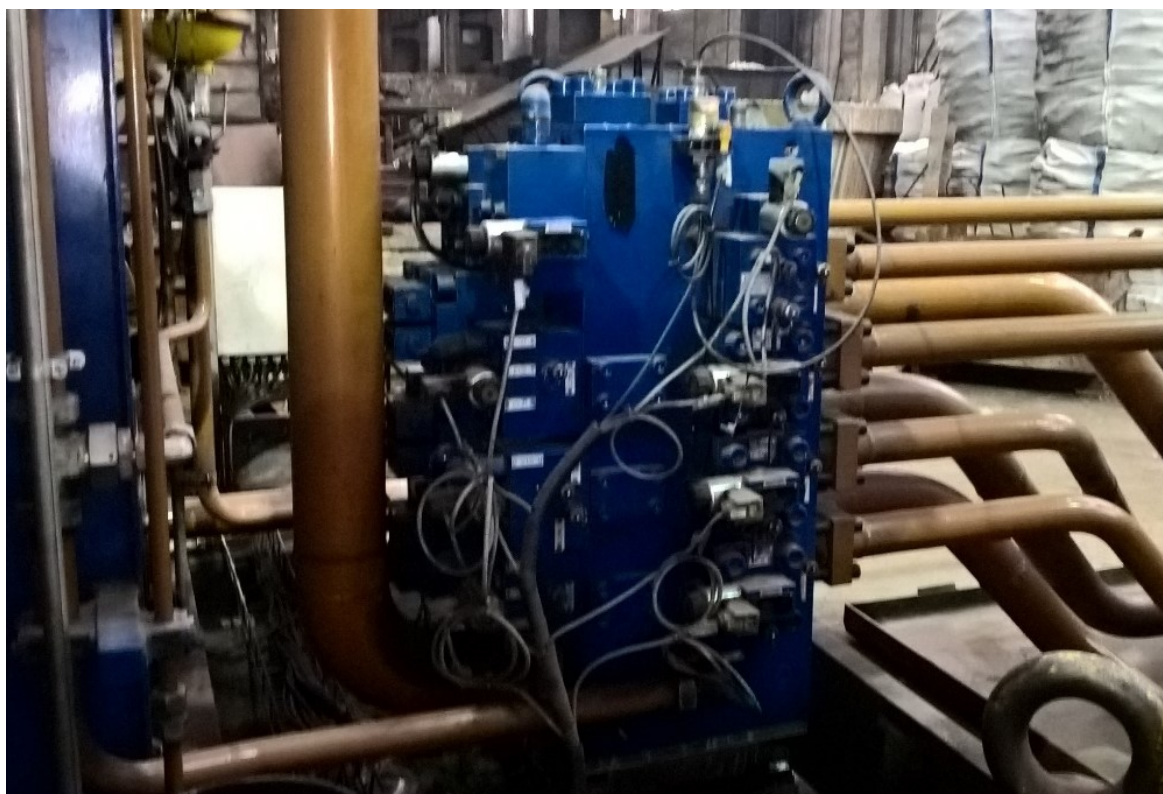
Při vysunutí hydraulického válce předlisu. Válec dosáhne koncové polohy i lisovacího tlaku, který je pro tento válec 330 bar, ovšem okamžitě se ozve silná rána a válec se ihned zase zasunou. Dle místního specialisty údržby silnou ránu způsobuje přestavění ventilů. Systém hlásí chybu a cyklus je nutné dokončit v ručním režimu.

Předčasné vypnutí stroje při předčasném zasunutí válce hradítka a to ve chvíli, kdy již došlo k hornímu lisování, ale ještě neproběhl dolis. Může tedy dojít k vysunutí k nedolisovaného paketu. Cyklus lze opět dokončit v ručním režimu.

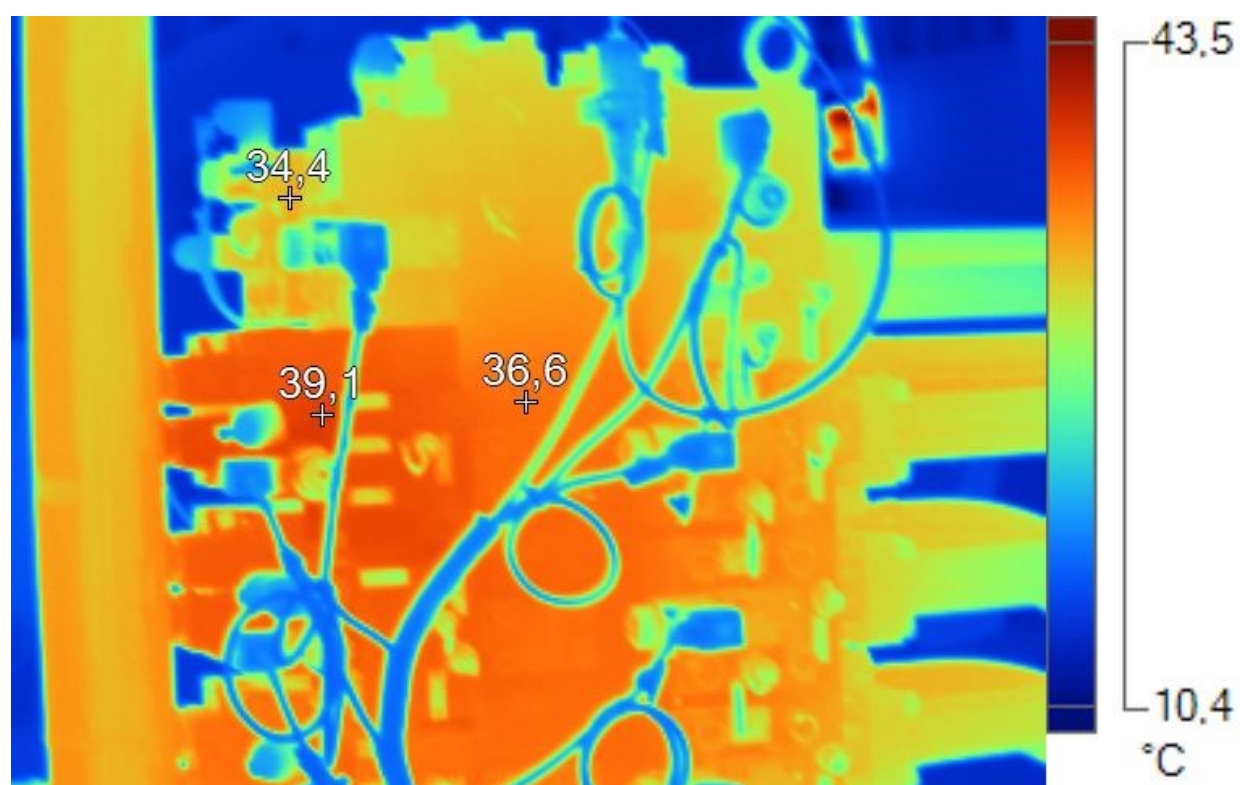
Místní specialista údržby mne tedy požádal o termodiagnostiku hydraulických rozvaděčů s cílem odhalit možný závadný rozvaděč, který může způsobovat tyto problémy.

Termodiagnostika ukázala jeden rozvaděč, který má vyšší teplotu než ostatní rozvaděče. Tento rozdíl však není výrazný. Jelikož to byl stejný rozvaděč, jaký zmíněný údržbář odhadoval jako ten závadný, rozhodli se pro jeho výměnu. Výměna však nepomohla a rozhodli se řešit problém s výrobcem stroje.

7.4.1 IR termosnímek – pohled 1



Obrázek 5 Foto hydraulických rozvaděčů lisu CPS 160



Obrázek 6 IR termosnímek hydraulického rozvaděče CPS 160

**Informace o obrázku**

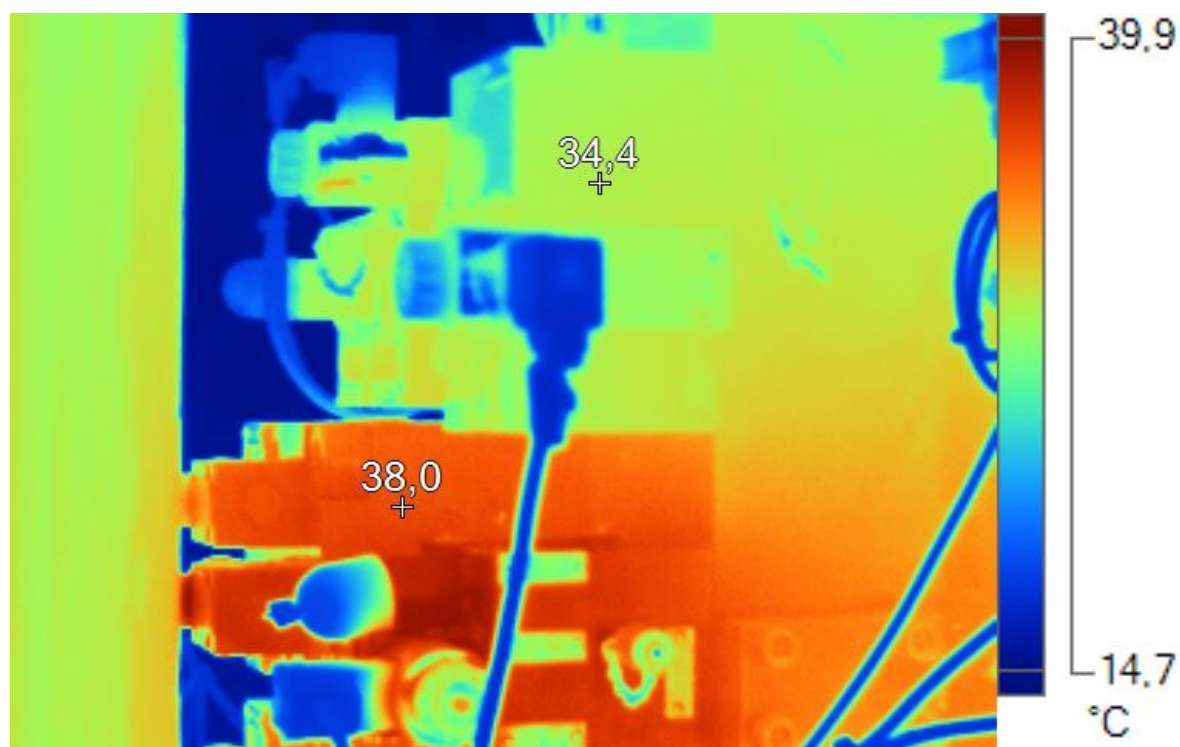
Teplota pozadí	20,2°C
Emisivita	0,96
Model kamery	Fluke Ti32
Velikost IR senzoru	320 x 240
Sériové číslo kamery	Ti32-11030150 (9Hz)
Výrobce kamery	Fluke Thermography
Čas obrázku	14.03.2018 9:25:38
Rozsah kalibrace	-10,0°C až 600,0°C
Rychlost proudění vzduchu	do 0,5 m · s <sup>-1</sup>
Relativní vlhkost	41 %

*Tabulka 6 Informace k Termosnímku na obrázku 6***Značky k obrázku**

Název	Teplota	Emisivita	Pozadí
Středový bod	36,6°C	0,96	20,2°C
P0	39,1°C	0,96	20,2°C
P1	34,4°C	0,96	20,2°C

*Tabulka 7 Značky k termosnímku na obrázku 6*

## 7.4.2 IR termosnímek – pohled 2



Obrázek 7 IR termosnímkem hydraulického rozvaděče CPS 160- pohled 2

## Informace o obrázku

Teplota pozadí	20,2°C
Emisivita	0,96
Model kamery	Fluke Ti32
Velikost IR senzoru	320 x 240
Sériové číslo kamery	Ti32-11030150 (9Hz)
Výrobce kamery	Fluke Thermography
Čas obrázku	14.03.2018 9:26:03
Rozsah kalibrace	-10,0°C až 600,0°C
Rychlost proudění vzduchu	do 0,5 m · s <sup>-1</sup>
Relativní vlhkost	41 %

Tabulka 8 Informace k termocnímku na obrázku 9

## Značky k hlavnímu obrázku

Název	Teplota	Emisivita	Pozadí
P0	34,4°C	0,96	20,2°C
P1	38,0°C	0,96	20,2°C

Tabulka 9 Popis značek termosnímku na obrázku 9

## 8 Mallcus

### 8.1 Popis funkce

Stroj MALLCUS je stroj formovací. Jeho úkolem je střísat a dolisovat písek v lici formě. Dolisování se provádí lisovacím tlakem od 11 MPa do 14 MPa dle druhu formy nastavení se provádí v tlakovém ventilu. [11]

### 8.2 Hydraulický mechanismus stroje

Než začnu popisovat hydraulický mechanismus stroje je důležité zmínit, že olej v této hydraulické nádrži je používám také pro ztrátové mazání na jiném stroji. Do nádrže musí tedy obsluha zhruba jednou do měsíce dolévat zhruba 500 litrů nového oleje.

Hydraulická nádrž má obsah 2 000 litrů hydraulického oleje HLP VG 46. Ten je filtrován samostatnou obtokovou filtrací s dvěma filtračními vložkami o jemnosti 10  $\mu\text{m}$ .

Hydrogenerátor vhánějící olej do větve obtokové filtrace je poháněn stejným pohonem jako hydrogenerátor, který vhání hydraulický olej do jiné samostatné větve s úkolem řízení rozvaděče hlavního pohonu lisu, pohonu hlavy lisu a také pohon plnění písku. Tato druhá větev má svůj filtr s filtrací od 10  $\mu\text{m}$ . Pohon pro pohánění těchto dvou hydrogenerátorů pracuje s výkonem 11 kW a otáčkami 1460  $\text{min}^{-1}$ .

Pohyby hlavních pístů je zajištěn jednak čerpadlovou dvojkombinací dvou jednosměrných neregulačních hydrogenerátorů a také jednosměrným regulovatelným hydrogenerátorem. Dvojkombinace hydrogenerátorů je poháněná elektromotorem s výkonem 75 kW a otáčkami 1470  $\text{min}^{-1}$ . Regulační hydrogenerátor je poháněn elektromotorem s výkonem 30 kW pracující s otáčkami 1460  $\text{min}^{-1}$ .

V tomto hydraulickém obvodu je pracovní kapalina vháněná přes proporcionální rozvaděče do přímočarých, dvoučinných hydromotorů. Takových hydromotorů je v obvodu několik. Dva páry slouží jako hlavní pohon lisu, jeden pár pro pohon hlavy lisu, jeden pár slouží pro výměnu modelových desek a jeden hydraulický motor slouží pro plnění písku. [11]

## 8.3 Aplikace technické diagnostiky

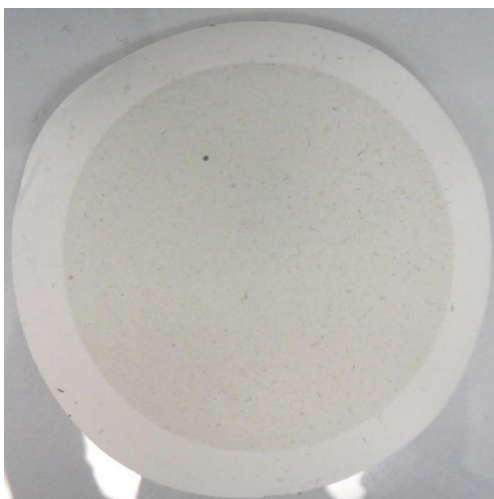
Stejně jako u předchozího stroje byl proveden rozbor hydraulického oleje. Zjišťoval jsem fyzikální parametry oleje. Neměřené fyzikální parametry oleje jsou zaznamenány v tabulce 10. Stav oleje se ukázal z fyzikálních parametrů jako téměř optimální. Jediným nevyhovujícím parametrem je čistota oleje.

Parametr	Metoda	Jednotky	Zjištěná hodnota	Min. limitní hodnota	Max. limitní hodnota	Hodnocení stavu
Kin. viskozita při 40 °C	ČSN EN ISO 3104	mm <sup>2</sup> /s	45,05	41,4	50,6	V pořádku
TAN (číslo kyselosti)	ČSN ISO 6618	mgKOH/g	0,288		1,3	V pořádku
Obsah vody	ČSN EN ISO 12937	hm. %	0,0012		0,02	V pořádku
Kód čistoty	ČSN ISO 4406/99		19/18/16		19/16/14	Zvýšená nečistota
Třída čistoty	NAS 1638		10		10	Zvýšená nečistota

Tabulka 10 Chemicko-fyzikální parametry hydraulického oleje stroje Mallcus

Dle normy ČSN ISO 4406/99 i normy NAS 1638 se pohybujeme s čistotou na horní hranici. Je však důležité vzít v úvahu i skutečnost, že při odběru byl uzavřen ventil na přívodu do obtokové filtrace. Filtrace pracovala tedy naprázdno a obsluha nedokáže říct jak dlouho už filtrace takto pracuje. Je tedy docela možné, že vysoký kód čistoty s tímto souvisí a stav by se měl zlepšit po obětovném zapnutí filtrace.





Obrázek 8 Ultrafiltr- stroj Mallcus

Prvky	Jednotky	Zjištěná hodnota	Hodnota výstrahy	Maximální limitní hodnota	Zhodnocení stavu
Fe	ppm	< 1,0	25	50	V pořádku
Cu	ppm	7,5	30	40	V pořádku
Cr	ppm	3,2		15	V pořádku
Sn	ppm	< 3,0		15	V pořádku
Si	ppm	34,9	20	40	Zvýšená koncentrace prvku

Tabulka 11 Koncentrace otěrových prvků v hydraulickém oleji stroje Mallcus

Prvky	Jednotky	Zjištěná hodnota	Zhodnocení stavu
S	Ppm	3882	V pořádku
P	Ppm	377,9	V pořádku
Na	Ppm	1592	V pořádku
Zn	Ppm	303,3	V pořádku
Ca	Ppm	< 10	V pořádku

Tabulka 12 Obsah aditivačních prvků v hydraulickém oleji ve stroji Mallcus

### 8.3.1 Doporučení

Olej má vysoký kód čistoty a má zvýšený obsah křemíku. Stav aditivačních prvků je v pořádku. Vzhledem ke skutečnosti s uzavřeným ventilem na obtokové filtraci doporučuji po přefiltrování provést rozbor oleje znovu a dle toho jestli se stav zlepší pokračovat dál.

## 9 Tellus

### 9.1 Popis funkce

Tento stroj je součástí linky pro výrobu forem na odlévání. K tomuto stroji vede linka na které jsou za sebou řazeny jednotlivé formy, které jsou v tuhle chvíli ještě rozděleny na horní a dolní polovinu. Obě části jsou za sebou zařazeny na pásu a to vždy tak, že je horní polovina před tou spodní. Horní polovina formy zajede až do mechanické točny, točna ji otočí a položí na spodní polovinu formu. Obsluha poté spojí formy kolíkem. Následně je složená forma přesunuta na další pás, kde už dochází k samotnému lití. [11]



Tabulka 13 Foto stroje MALLCUS

### 9.2 Hydraulický mechanismus

V tomto hydraulickém mechanismu se nachází dva hydrogenerátory poháněné jedním elektromotorem s otáčkami  $1450 \text{ min}^{-1}$ . Jeden z hydrogenerátorů vhání s průtokem  $60 \text{ l/min}$  olej přes olejový chladič a následně i přes olejový filtr zpátky do nádrže. Druhý hydrogenerátor vhání pracovní kapalinu do hydraulického obvodu s průtokem  $210 \text{ l/min}$ . Olej je nasáván do jednoho potrubí to se následně rozděluje do jednotlivých hydrogenerátorů, než se však olej rozdělí prochází sacím filtrem.



Úkolem pracovní kapaliny v tomto hydraulickém mechanismu je pohybovat celkem devíti dvojčinným písty rozdělnými do celkem tří panelů. „Stanice zakládání jader“ je Panel I. Panel I zahrnuje jeden píst řízen dvěma rozvaděči. Jsou to rozvaděče třípolohové dvoucestné, v základní poloze vymezené pružinami a řízené jsou hydraulikou s pomocí elektromagnetů.

Panel III se nazývá „Pokládací stanice pro vyčkávací dráhu“. Nalezneme zde čtyři písty z toho dva pracují v páru a řízené jsou jedním rozvaděčem. Rozvaděč těchto dvou pístů je třípolohový dvoucestný v základní poloze vymezený pružinami a řízený elektromagnety.

Panel III se nazývá „Skládací stanice“. Tento blok zahrnuje tři písty. Dva z nich jsou řízeny dvoucestnými, třípolohovými rozvaděči v základní poloze vymezené pružinami a řízené jsou pomocí hydrauliky a elektromagnetů. [11]

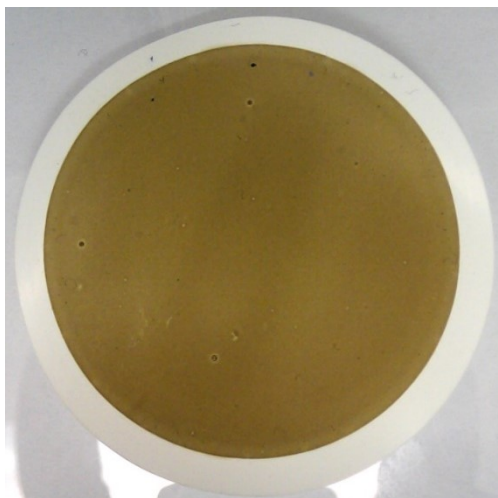
### 9.3 Aplikace metod technické diagnostiky na stroji Tellus

Ze všech mých rozborů dopadl tento stroj nejhůře. A to hlavně z hlediska čistoty. Je třeba zdůraznit že hydraulická nádrž pracuje ve velmi prašném prostředí a v době odběru vzorku měla nádrž oddělané víko. Vniku prachových částic tedy nic nebánilo.

Parametr	Metoda	Jednotky	Zjištěná hodnota	Min. limitní hodnota	Max. limitní hodnota	Hodnocení stavu
Kin. viskozita při 40 °C	ČSN EN ISO 3104	mm <sup>2</sup> /s	45,6	41,4	50,6	V pořádku
TAN (číslo kyselosti)	ČSN ISO 6618	mgKOH/g	0,225		1,3	V pořádku
Obsah vody	ČSN EN ISO 12937	hm. %	0,001		0,02	V pořádku
Kód čistoty	ČSN ISO 4406/99		Nelze stanovit		19/16/14	Nelze stanovit
Třída čistoty	NAS 1638		Nelze stanovit		10	Nelze stanovit

Tabulka 14 Chemicko-fyzikální parametry hydraulického oleje ve stroji Tellus

Snahou bylo i stanovení kódu čistoty to však kvůli vysoké koncentraci měkkých kalů nešlo. Obrázek filtru tohoto oleje (obrázek 9) ukazuje o jak velké znečištění se jedná. Byť tabulka 15 a 16 neukazuje zvýšenou koncentraci žádného konkrétního prvku.



Obrázek 9 Ultrafiltr- stroj Tellus

Prvky	Jednotky	Zjištěná hodnota	Hodnota výstrahy	Maximální limitní hodnota	Zhodnocení stavu
Fe	ppm	< 1,0	25	50	V pořádku
Cu	ppm	8,3	30	40	V pořádku
Cr	ppm	12,2		15	V pořádku
Sn	ppm	< 3,0		15	V pořádku
Si	ppm	< 1,0	20	40	V pořádku

Tabulka 15 Obsah otěrových prvků v hydraulickém oleji ve stroji Tellus

Prvky	Jednotky	Zjištěná hodnota	Zhodnocení stavu
S	ppm	3650	V pořádku
P	ppm	279	V pořádku
Na	ppm	1644	V pořádku
Zn	ppm	238,4	V pořádku
Ca	ppm	17,5	V pořádku

Tabulka 16 Obsah aditivačních prvků v hydraulickém oleji ve stroji Tellus

### 9.3.1 Doporučení

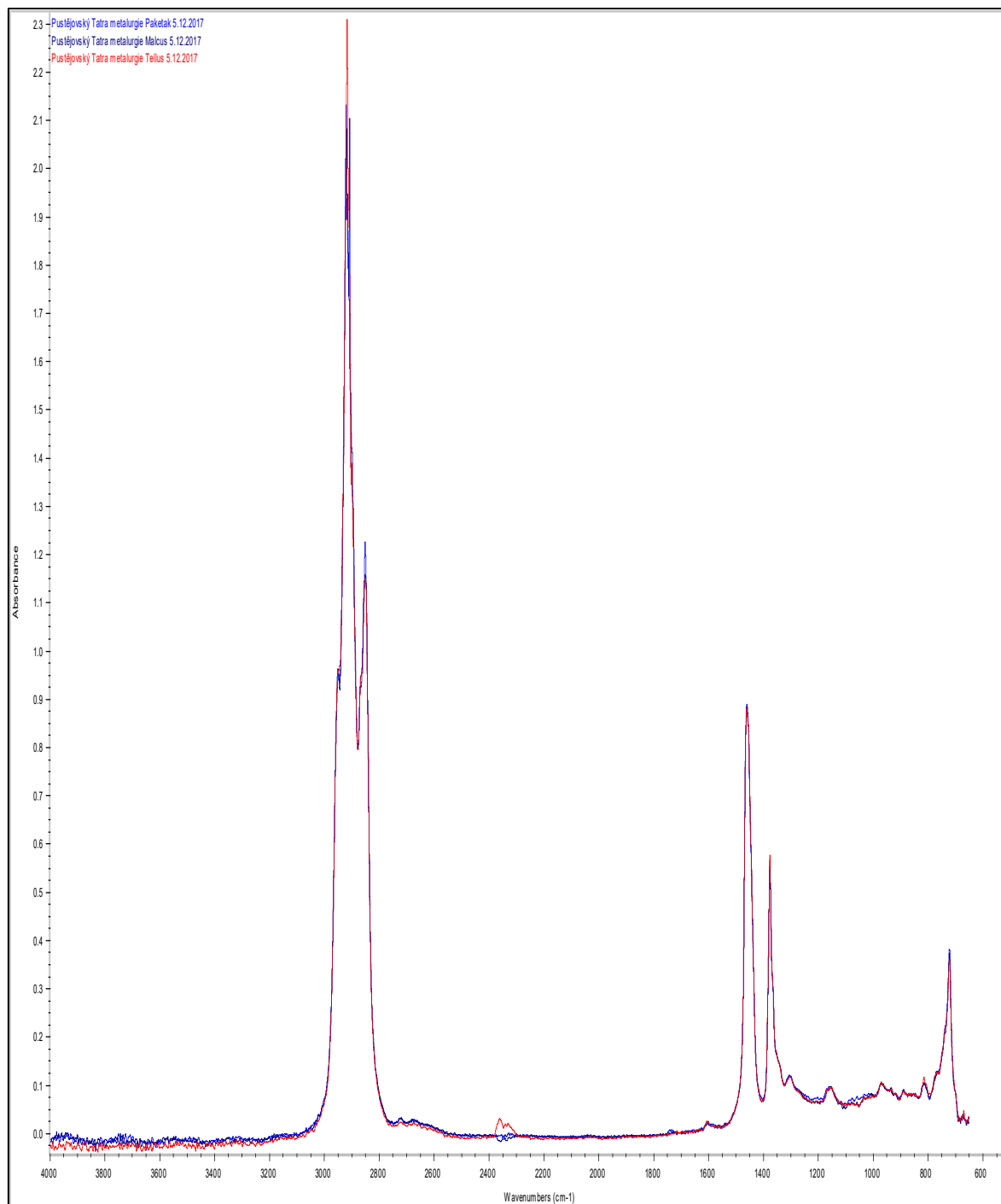
Olejová náplň obsahuje příliš mnoho měkkých kalů. Doporučuji výměnu olejové náplně

## 10 FTIR

Chci ještě přidat grafy naměřené pomocí metody FTIR. Jelikož nemám k dispozici referenční vzorek můžu porovnat zkoumané vzorky pouze mezi sebou, stejně jako u vyhodnocení množství aditivačních prvků.

Z vyhodnocení množství aditivačních prvků vyplynulo, že hydraulický olej paketového lisu má oproti ostatním olejům málo protioděrových aditiv. To nám potvrzuje i obrázek 10. Na tomto obrázku jsou grafy z měření všech tří olejových vzorků metodou FTIR prolnuté mezi sebou. V oblasti aditiv je v grafu od paketového lisu jistá anomálie.

Pro úplnost a přehlednost dodám, že na obrázku 10 graf světle modré barvy přísluší oleji z hydraulického lisu CPS 160 ( na obrázku Paket'ák). Graf tmavě modré barvy patří oleji ze stroje MALLCUS a poslední, červený graf patří oleji ze stroje TELLUS.



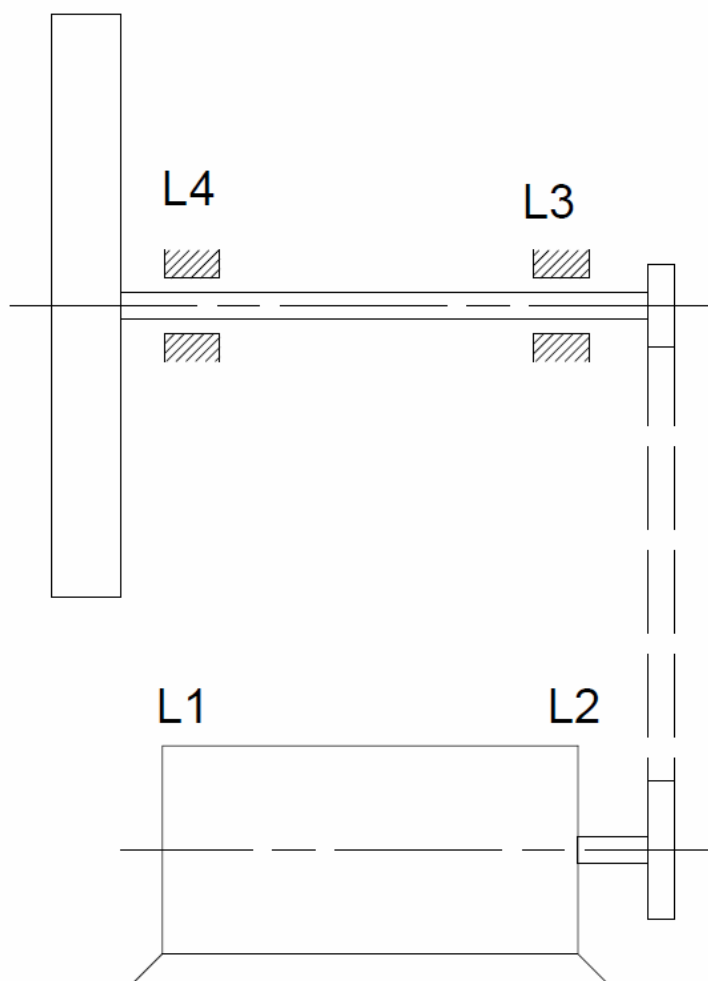
Obrázek 10 Prolnuté grafy všech tří vzorků z rozboru FTIR

## 11 Ventilátor pro odsávání haly

Úkolem tohoto ventilátoru je odsávání zplodin a nečistot z ovzduší v hale, které se vzhledem výrobním procesům v hale může stát lehce nedýchatelné. Ventilátor je poháněn elektromotorem a to přes řemenový převod. Ventilátor samotný ej uložen ve dvou ložiskových domcích. Podoba systému je znázorněná schématem na obrázku 11.

Elektromotor pracuje s výkonem 75 kW a otáčkami  $1480 \text{ min}^{-1}$ . Je napájen síťovou frekvencí 50 Hz. Poháněný ventilátor pracuje dle štítku s otáčkami  $1850 \text{ min}^{-1}$ . To znamená, že řemenový převod je převod do rychla.

Pro odstavce o ventilátoru je čerpáno ze zdroje 11.



Obrázek 11 Schéma pohonu ventilátoru

### 11.1 Analýza stavu stroje pomocí vibrodiagnostiky

Mým úkolem zde bylo provést vibrační diagnostiku. Měření jsem prováděl celkem ve čtyřech bodech. Dvě místa na elektromotoru a celkem dvě ložiska. Na všech měřících místech jsem měřil ve třech směrech.

Pro měření byl použit analyzátor vibrací ADASH VA 4 PRO společně se třemi snímači vibrací.

#### 11.1.1 Stanovení limitních hodnot

Limitní hodnoty oblasti efektivních hodnot rychlosti vibrací pro tento stroj jsou převzaty z normy ČSN ISO 10 816-3 [10] pro stroje s jmenovitým výkonem od 15 do 300 kW včetně. Výpis těchto hodnot je v tabulce 17. Norma popisuje stav stroje pomocí čtyř pásem.

**Pásmo A** – Toto pásmo zahrnuje vibrace obvykle nových přejímaných strojů.

**Pásmo B** - Jsou-li stroje v tomto pásmu, považují se za provozuschopné po neomezeně dlouhou dobu .

**Pásmo C** – Vibrace strojů spadající do tohoto pásma jsou neuspokojivé pro provoz. Za těchto podmínek je nutné provést nápravu jakmile to je možné.

**Pásmo D** – Hodnoty odpovídající těmto vibracím jsou příliš vysoké a mohou být nebezpečné pro zařízení.

Hranice pásma	Efektivní hodnota rychlosti
A/B	1,4
B/C	2,8
C/D	4,5

Tabulka 17 Hranice pásem vibrací dle normy ČSN ISO 10 816 - 3 pro stroje s jmenovitým výkonem od 15 kW do 300 kW

Pro oblast zrychlení jsem stanovil provozní meze **výstrahy** a **přerušení provozu**. Hranice provozních mezí jsou zapsány v tabulce 18.

**Výstraha** - Dosažení těchto hodnot vibrací znamená, že se vyskytla významná změna stavu zařízení a je nutné provést nápravu jakmile to bude možné.

**Přerušení provozu** – Při překročení této meze vibrací může dojít k ohrožení stroje. Je nutné odstavit stroj a provést nápravu.

	Výstraha	Přerušení provozu
D	1,5	3

Tabulka 18 Limitní hodnoty vibrací v oblasti zrychlení

#### 11.1.2 Soupis z měření

Tabulka 19 ukazuje RMS hodnoty vibrací jednotlivých měřicích bodů. Je vidět, že hodnoty v oblasti rychlosti vibrací stroje jsou příliš vysoké. Hodnoty zrychlení jsou zvýšené pouze na místech L3 a L4, tedy na ložiscích.

Ventilátor pro odsávání haly						
	Horizontální [mm/s]	Vertikální [mm/s]	Axiální [mm/s]	Horizontální [g]	Vertikální [g]	Axiální [g]
L1	5,58	12,4	7,41	0,411	0,393	0,531
L2	8,61	10,4	10,5	0,48	0,517	0,395
L3	10,1	11	4,92	3,29	1,43	1,6
L4	9,38	7,14	4,72	6,78	4,87	3,96

Tabulka 19 Soupis RMS hodnot vibrací pro jednotlivá měřená místa

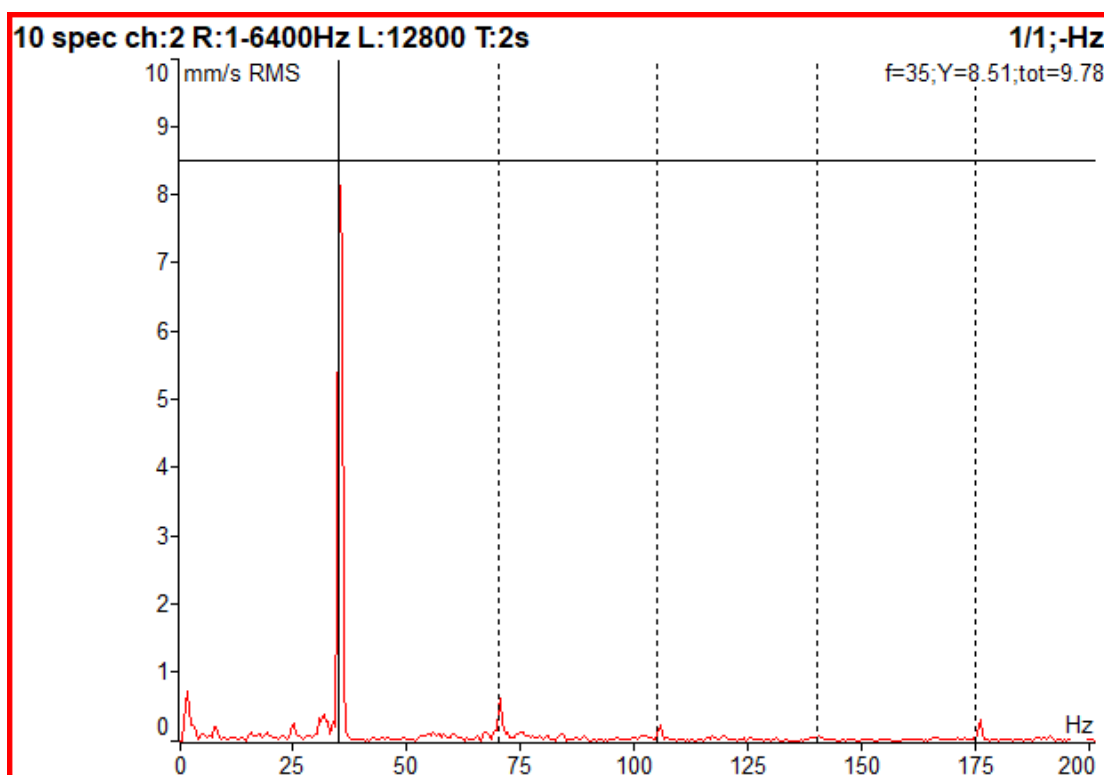
Takto zvýšené vibrace zrychlení bývají způsobené špatným mazáním. Co se týká zvýšených hodnot rychlosti, je potřeba prozkoumat frekvenční spektrum. Obrázek 11 ukazuje frekvenční spektrum horizontálního směru na pozici L4. Můžeme zde vidět výraznou špičku na frekvenci 35 Hz. Jedná o otáčkovou frekvenci ventilátoru a hodnotu má 8,51 mm/s. Tato špička má sice i špičky na harmonických frekvencích, nicméně velice malé to jednoznačně ukazuje na nevyváženost rotoru. Tato otáčková frekvence je patrná nejen na ložisku L3 a L4, ale přenáší jej i řemenový převod na ložiska elektromotoru. Ve frekvenčním spektru lze najít i otáčkovou frekvenci elektromotoru, nicméně je velice malá.

Zvýšené vibrace způsobené nevyvážeností ventilátoru způsobuje v první řadě velké zatížení ložisek uložení ventilátoru ale i zatížení ložisek elektromotoru, tedy i jejich



nadměrné opotřebení a zkrácení životnosti. Opotřebení ložisek však nejsou jediný možná problém, který může způsobit nevyvážený rotor. Ruku v ruce s opotřebenými ložisky přichází i větší tření, tudíž i větší spotřeba energie. Dále může v důsledku vibrací dojít i k uvolnění celé konstrukce.

Na obrázku 12 je frekvenční spektrum naměření na pozici L4 v horizontálním směru.



Obrázek 12 Frekvenční spektrum naměřené na L4

## 11.2 Doporučení

Z měření tedy vyplývá, že je potřeba vykonat více, než jednu operaci pro nápravu. Jednak je potřeba se zaměřit na vibrace způsobené nevyvážeností ventilátorů a také na mazání ložisek.

Doporučuji zkusit nejdříve očistit rotor, jelikož i kusy nečistot mohou způsobit nevyváženost. Pokud se vibrace po očištění nesníží bude zapotřebí ventilátor vyvážit. Co se týká ložisek je nutné je domazat a následně změřit vibrace znovu. Hodnoty vibrací by se měly okamžitě snížit. Pokud se vibrace na ložiscích zhruba měsíc po domazání zase zvýší znamená to, že ložiska jsou již příliš opotřebená a je potřeba je vyměnit.

## 12 Lamberton

Stroj je na konci výrobního procesu. Formy s odlitky jsou vsypány na pás, který je pomocí vibrátoru roztřesen. Třesením jsou odlitky zbaveny písku a zbytků vtokových kanálů formy. Vibrátory jsou celkem dva a každý je umístěn na jedné straně pásu. Jelikož jsou vibrátory vůči rovině pásu natočeny o  $45^\circ$ , jsou odlitky třesením zároveň posouvány po pásu. Po pásu se odlitky posouvají směrem k rameni efektoru, které je ovládáno dělníkem. Úkolem dělníka je z pásu pomocí efektoru vytahovat kovové zbytky forem a odlitky a to vše skládat do beden. Písek propadá mříží a je odváděn pryč.

Motor pohánějící vibrátory mají výkon 8 kW, jejich síťová frekvence je 50 Hz a pracují s otáčkami  $980 \text{ min}^{-1}$ .

Pro odstavce o stroji LAMBERTON je čerpáno ze zdroje 11.



*Obrázek 13 Pás stroje Lamberton, na boku lze vidět jeden z vibrátorů*



Obrázek 14 Efektor stroje Lamberton

### 12.1 Vibrační diagnostika ložisek vibrátorů

Na tomto stroji jsem prováděl vibrační diagnostiku na obou vibrátorech. Ložiska jsou válečková. Jelikož jsou vibrátory na stroji dva, pojmenoval jsem měřící body jako V1 a V2 jako Vibrátor jeden a druhý a D jako dolní ložisko nebo H jako horní ložisko.

Při měření jsem použil analyzátor vibrací ADASH VA 4 PRO společně se třemi snímači vibrací.

#### 12.1.1 Stanovení limitních hodnot

Nejdříve je potřeba stanovit limitní hodnoty. Pro oblast zrychlení jsem se rozhodl limitní hodnoty neurčovat jelikož vysoké hodnoty vibrací pro tuto oblast jsou na tomto zařízení přirozené. Ovšem pro oblast zrychlení je důležité stanovit limitní hodnoty, jelikož je na vibrátorech záměrně nevyváženost, ložiska jsou velice namáhaná. Limitní hodnoty jsou v tabulce 21.

	Výstraha	Přerušení provozu
g	1,5	3

Tabulka 20 limitní hodnoty zrychlení pro vibrátory stroje Lamberton

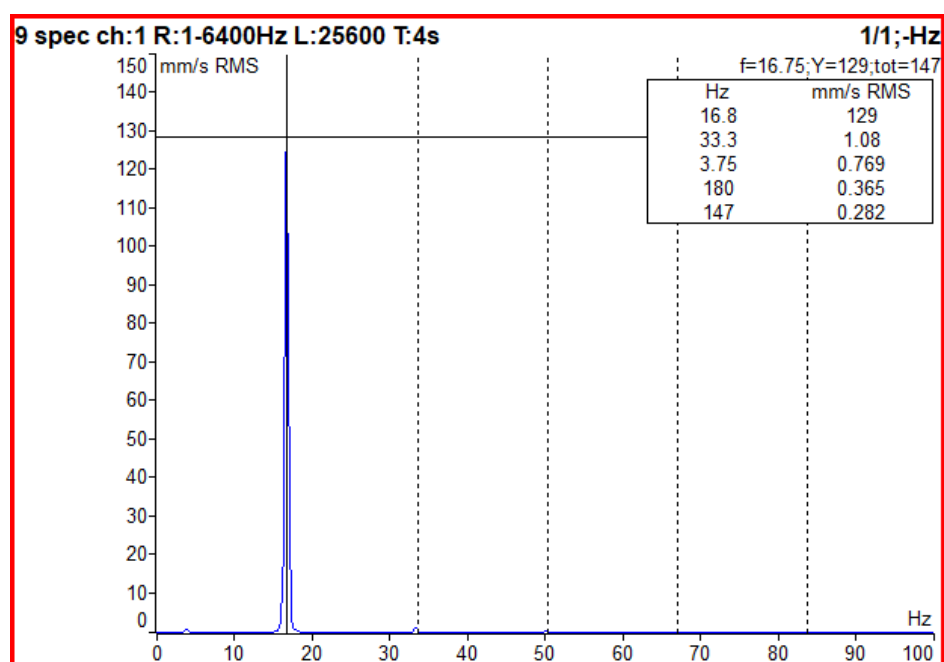
## 12.1.2 Soupis z měření

Tabulka 22 ukazuje RMS hodnoty vibrací jednotlivých měřících bodů. Můžeme vidět extrémní hodnoty rychlosti vibrací v horizontálních směrech, ty jsou způsobené právě nevyvážeností. V oblasti rychlosti se čísla pohybují v zelených číslech.

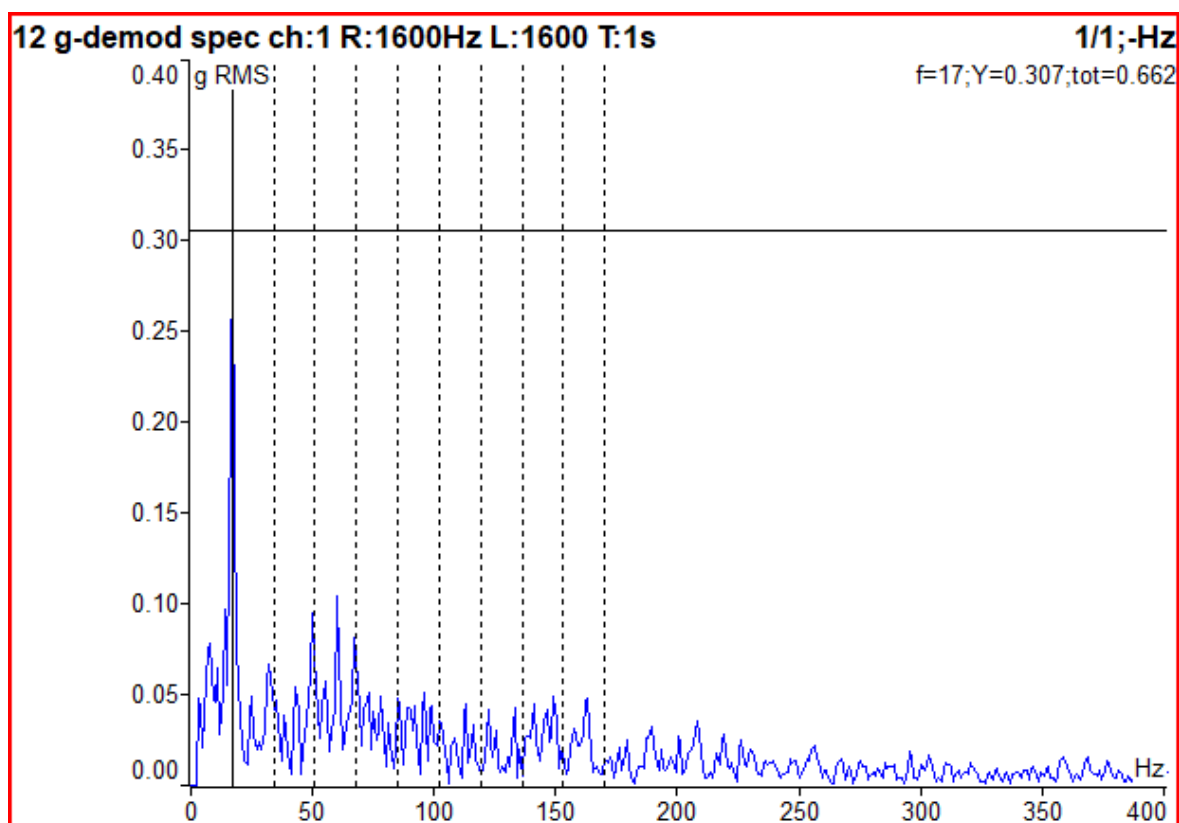
Lamberton						
	Horizontální [mm/s]	Vertikální [mm/s]	Axiální [mm/s]	Horizontální [g]	Vertikální [g]	Axiální [g]
V1H	146	2,95	2,3	0,577	0,508	0,658
V1D	157	3,38	5,72	1,01	0,802	0,777
V2H	151	9,58	6,47	0,668	0,55	0,633
V2D	140	6,34	6,62	0,767	0,628	0,664

Tabulka 21 Hodnoty vibrací vibrátoru

Jak můžeme vidět vibrace na všech ložiscích jsou v horizontálním směru extrémní je to zdůvodněno zmíněnou nevyvážeností. Na obrázku 14 je frekvenční spektrum ve kterém se to vše potvrzuje. Ve frekvenčním spektru je výrazná jediná špička a to špička první otáčkové frekvence a bez výrazných harmonických frekvencí. Hodnoty zrychlení vysoké nejsou a ani frekvenční spektrum neukazují závady ložisek. Pro úplnost přikládám frekvenční spektrum v oblasti zrychlení naměřené na ložisku L1H v horizontálním směru a to na obrázku 16.



Obrázek 15 Frekvenční spektrum horizontálního směru na ložisku L1H s kurzorem na první otáčkové frekvenci (oblast rychlosti)



Obrázek 16 Frekvenční spektrum horizontálního směru na ložisku L1H s kurzorem na první otáčkové frekvenci (oblast zrychlení)

### 12.1.3 Doporučení

I přes velikost vibrací je třeba závěrem říci, že stroj je v pořádku, jelikož se jedná o zařízení kde jsou takové hodnoty očekávané a chtěné. Přesto doporučuji provádět pravidelná měření stroje.

## 13 Závěr

Práce na začátku popisuje vznik olejů jako takových i jednotlivé druhy základových olejů, které jsou pro finální podobu oleje velice důležité. V práci je také soupis a popis aditivačních produktů, které se používají při tvorbě a vylepšování nejen hydraulických olejů. Práce zahrnuje také část, kde jsou popsány také vlastnosti, které by měl mít hydraulický olej.

Hlavním cílem práce byla aplikace metod technické diagnostiky na zařízeních slévárny. V práci je tedy popis funkcí těchto zařízení a jedná-li se o hydraulické mechanismy obsahuje práce i jejich popis. Diplomová práce popisuje i výsledky jednotlivých měření a zhodnocení stavu zařízení.

Pouze jedno zařízení bylo ve stavu, kde nebylo potřeba doporučovat žádná nápravná opatření. Byly tím vibrátory stroje Lamberton. Pro ventilátor odsávání haly jsem doporučil domazání ložisek a provést vyvážení ventilátoru. Mým úkolem byly také rozборы hydraulických olejů třech zařízení. Pro stroj Mallcus jsem doporučil profiltrování olejové nádrže kvůli znečištění. Stroj Tellus byl znečištěn měkkými kaly a bylo třeba doporučit výměnu. Olej hydraulického lisu CPS 160, nebo-li paketového lisu, měl vysokou koncentraci chromu a vše naznačovalo tomu, že přišel i protioděrové aditivu ovšem kvůli nemožnosti porovnání s referenčním vzorkem to nelze říct s jistotou.

Musím říct, že spolupráce s pracovníky firmy TATRA METALURGIE a.s. byla skvělá. Všichni ochotně poradili a pomohli když to bylo v jejich silách, stejně tak s mým vedoucím práce. Jsem rád, že jsem se v rámci diplomové práce mohl dostat do provozu slévárny a nakouknout aspoň z části do jejich procesu údržby, bylo pro mne velice obohacující. Pokud má práce aspoň s částí pomohla pracovníkům této firmy mám z toho radost.

## 14 Citace

- [1] PAVLOK, Bohuslav. *Hydraulické prvky a systémy*. Díl 1, Kapaliny v hydraulických mechanismech, hydrostatické převodníky. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1999. ISBN 80-7078-620-5.
- [2] PAVLOK, Bohuslav. *Hydraulické prvky a systémy*. Díl 2, Řídicí prvky hydrostatických systémů, příslušenství hydrostatických obvodů. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. ISBN 978-80-248-1827-6.
- [3] PEŤKOVÁ, Viera. *Tribotechnika v teórii a praxi*. V Košiciach: Viena pre TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. ISBN 978-80-8126-057-5.
- [4] ČERNÝ, Jaroslav, Ing., CSc. [online]. [cit. 2018-03-04]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Kdyz-se-rekne--zakladove-oleje>
- [5] HELEBRANT, František, Jiří ZIEGLER a Daniela MARASOVÁ. *Technická diagnostika a spolehlivost*. I, Tribodiagnostika. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2001. ISBN 80-7078-883-6.
- [6] NOVÁČEK, Vladimír a Jan NOVÁK. [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Kdyz-se-rekne--zakladove-oleje>
- [7] NOVÁČEK, Vladimír a Jan NOVÁK. [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-62013/novy-pristup-ke-sledovani-stavu-oleju.html>
- [8] NOVÁČEK, Vladimír a Jan NOVÁK. [online]. [cit. 2018-03-08]. Dostupné z: <https://www.oleje.cz/clanek/Vlastnosti-motorovych-oleju---Detergenty-a-disperzanty>
- [9] *Portfolio firmy TATRA METALURGIE a.s.* [online]. [cit. 2018-05-07]. Dostupné z: <http://tatrametalurgie.cz/?#portfolio>
- [10] *ISO 10816-3: Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010
- [11] Interní dokumentace firmy TATRA METALURGIE a.s.

[12] NEZNÁMÝ AUTOR. *TATRA METALURGIE a.s.* [online]. [cit. 18.5.2018]. Dostupný na WWW: <http://www.tatrametalurgie.cz/>